В помощь радиолюбителю



УЧЕБНЫМ ОРГАНИЗАЦИЯМ ДОСААФ И РАДИОКРУЖКАМ

ХАРАКТЕРИОГРАФ И РАБОТА С НИМ

А. Аристов

Изображение на экране осциллографа получается в результате перемещения светящейся точки, движущейся одновременно в горизонтальном и вертикальном направлениях. Движение по горизонтали обычно осуществляется внутренним генератором развертки осциллографа. Характер этого движения хорошо виден при включении генератора на самую малую частоту развертки: слева направо точка движется равномерно, а дойдя до края экрана, она очень быстро возвращается в исходное положение и вновь движется равномерно слева направо. С увеличением частоты развертки точка движется все быстрее, и при частоте 16—20 Гц наш глаз воспринимает ее как сплошную линию. Движение по вертикали обусловлено напряжением, подаваемым на вход усилителя вертикального отклонения луча осциллографа (вход «Y»). Чем быстрее изменяется это напряжение, тем

быстрее движется светящаяся точка; чем больше его амплитуда, тем дальше от горизонтальной оси экрана отклонится точка вверх или вниз. В результате одновременного движения по горизонтали и вертикали светящаяся точка рисует на экране осциллографа график зависимости мгновенного напряжения сигнала от времени.

У большинства осциллографов есть еще и вход усилителя горизонтального отклонения луча (вход «X») для обеспечения развертки внешним сигналом. Нет такого входа только у самых простых осциллографов, например ЛО-70. В этом случае можно воспользоваться несложной приставкой, описание которой можно найти в литературе (см., например, Радио, 1972, № 11). Если на два входа осциллографа подать два напряжения, одно из которых обусловлено другим, то на экране электроннолучевой трубки появится график зависимости одного напряжения от другого.

С помощью соответствующего датчика в напряжение можно преобразовать практически любой параметр — механический, химический, магнитный, электрический.

Проще всего преобразовать в напряжение электрический ток. Для этого ток нужно пропустить через резистор, на котором, в соответствии с законом Ома, возникнет напряжение, пропорциональное силе тока и сопротивлению резистора. Резистор можно включить последовательно с каким-либо элементом — полупроводниковым диодом, транзистором, тринистором или другим прибором. И в этом случае на резисторе появится напряжение, пропорциональное току, протекающему через исследуемый элемент. Подав на вход «X» напряжение, снятое с выводов элемента, а на вход «Y» — с резистора, получим на экране осциллографа график зависимости тока через элемент от напряжения на этом элементе (при условии, что напряжение будет изменяться в нужных для испытания пределах и достаточно быстро, чтобы мелькания изображения были незаметны для глаза). Этот график и будет вольтамперной характеристикой данного элемента.

Для наблюдения вольтамперных характеристик на экранах универсальных осциллографов радиолюбители используют специальные приставки — характериографы. Характериографы бывают разной сложности. Более

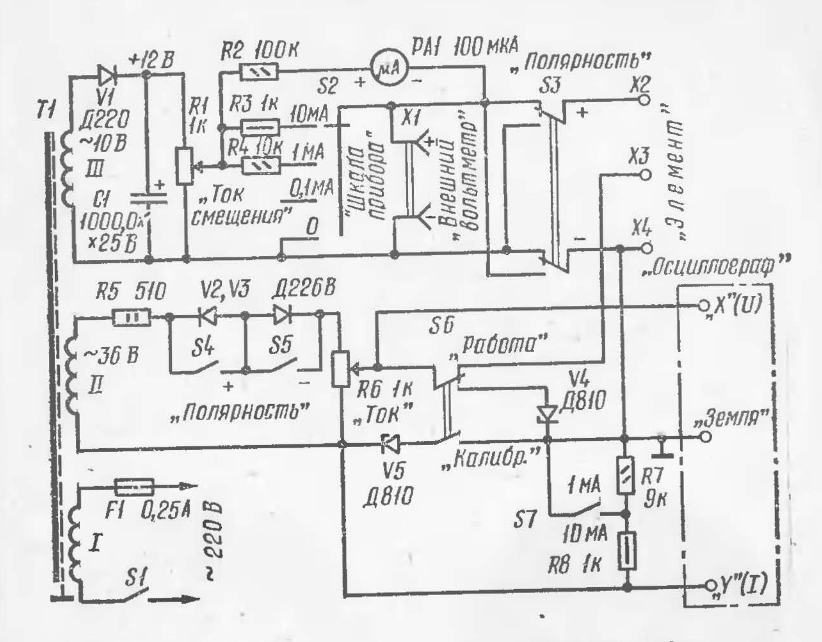


Рис. 1. Принципиальная схема характериографа

сложные позволяют видеть на экране осциллографа семейство характеристик — одновременно до 10—20 характеристик, например выходных характеристик транзистора при разных токах базы.

На рис. 1 приведена принципиальная схема сравнительно простого характериографа, рассчитанного на совместную работу с любым осциллографом, имеющим входы «X» и «Y». Он позволяет снимать вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов, полевых и биполярных транзисторов малой и средней мощности, тринисторов, резисторов, фоторезисторов и ряда других элементов.

Приставка состоит из двух функционально обособленных узлов: собственно характериографа и источника тока смещения исследуемого элемента, подключаемого к зажимам *X2—X4*. Напряжение на характериограф подается с обмотки *II* трансформатора питания *T1* через ограничительный резистор *R5* и диоды *V2*, *V3*. Амплитуду напряжения устанавливают переменным резисто-

ром $R6$. Одновременно резисторы $R5$ и $R6$ образуют делитель напряжения, о влиянии которого надо помнить. Диоды $V2$ и $V3$ определяют полярность напряжения (относительно «земли»), поступающего на исследуемый элемент. При замкнутых контактах тумблера $S4$ напряжение на исследуемом элементе изменяется с частотой 50 Гц от нуля до +30 В, при замкнутых контактах только тумблера $S5$ — от 0 до —30 В. Если замкнуты контакты обоих тумблеров, то напряжение на исследуемом элементе изменяется от +30 до —30 В. Предположим, что к зажиму $X3$ подключен анод, а к зажиму $X4$ — катод кремниевого стабилитрона Д814. Тогда в первом случае (когда замкнуты контакты только тумблера $S4$) мы получим прямую ветвь вольтамперной характеристики стабилитрона (рис. 2, *а*), во втором (замкнуты контакты только тумблера $S5$) — обратную ветвь (рис. 2, *б*), а в третьем случае (замкнуты контакты обоих тумблеров) — обе ветви характеристики стабилитрона (рис. 2, *в*).

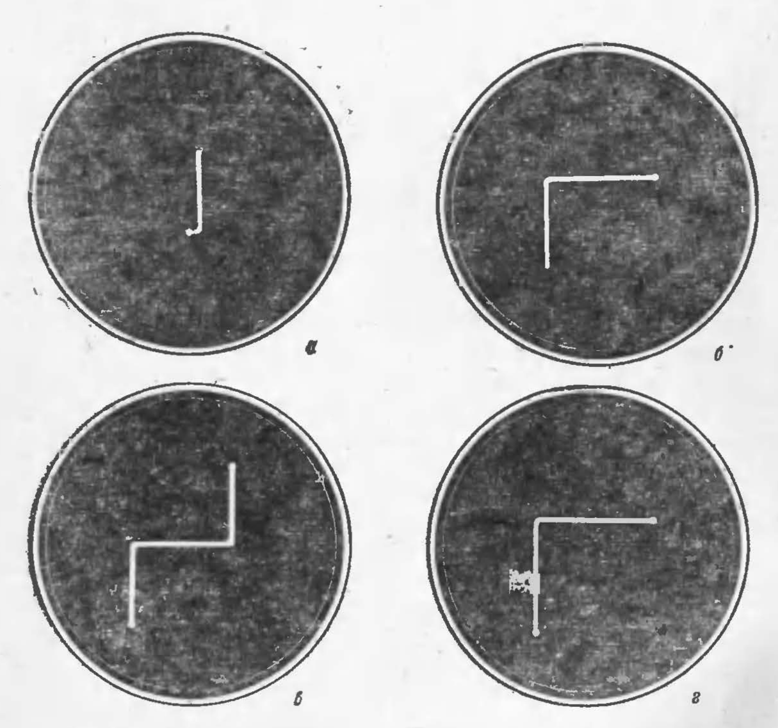


Рис. 2. Вольтамперные характеристики стабилитрона Д810:
а — прямая ветвь; *б* — обратная ветвь; *в* — полная характеристика; *г* — измененная обратная ветвь, используемая для калибровки масштабов

Особый интерес представляет обратная ветвь вольтамперной характеристики стабилитрона Д814. Известно, что электрический пробой этого стабилитрона происходит при напряжении 10 В. Этому моменту соответствует точка резкого перегиба вольтамперной характеристики. Следовательно, длина горизонтальной линии графика на экране осциллографа соответствует напряжению 10 В, что можно использовать для калибровки прибора по напряжению. Нужно лишь установить ручку регулировки чувствительности усилителя горизонтального отклонения луча осциллографа в положение, при котором длина горизонтальной линии равна 10 или 5 см. Откалиброванный таким образом прибор можно использовать не только для качественной, но и для количественной оценки вольтамперных характеристик по напряжению. Для этого в характериограф введен тумблер $S6$, который в положении *«Калибровка»* подключает к характериографу стабилитрон $V4$.

Напряжение на вход «Y» осциллографа подается с последовательно соединенных резисторов $R7$ и $R8$ или при замкнутых контактах тумблера $S7$, только с резистора $R8$. В первом случае падение напряжения происходит на сопротивлении, равном 10 кОм, во втором — 1 кОм. Тумблер $S6$ в положении *«Калибровка»* подключает параллельно этим резисторам стабилитрон $V5$ типа Д810. Это позволяет ограничить напряжение на них до 10 В и калибровать прибор по току. При таком напряжении через последовательно соединенные резисторы $R7$ и $R8$ (10 кОм) протекает ток 1 мА, а при замкнутых контактах тумблера $S7$ только через резистор $R8$ (1 кОм) — 10 мА. Следовательно, длина вертикальной линии на экране осциллографа (рис. 2, *г*) соответствует при разомкнутых контактах тумблера $S7$ 1 мА, при замкнутых — 10 мА. При калибровке прибора контакты тумблера $S4$ должны быть разомкнуты, а контакты $S5$ — замкнуты (чтобы выделить только обратную ветвь характеристики стабилитрона $V4$).

Выделять одну из ветвей характеристики нужно не только при калибровке. Некоторые элементы могут работать лишь при одной полярности напряжения. Установить нужную полярность можно тумблерами *S4* и *S5*. Если ветвь характеристики одна, то она обязательно выходит из начала координат, выделенного к тому же яркой точкой. Найти начало координат на характеристике, состоящей из двух ветвей, трудно, так как оно ничем не отличается от остальных точек графика. Установить начало координат в какую-то определенную точку экрана также невозможно, так как оно определяется постоянной составляющей напряжений, поступающих на входы «X» и «Y».

Светящаяся точка перемещается по экрану не равномерно. Там, где она движется быстрее, остается след в виде менее яркой и толстой линии, а там, где медленнее,— в виде более яркой и толстой. В некоторых же местах она останавливается, и тогда там появляется яркая точка, заметно отличающаяся от остальных точек графика. Так, при замыкании контактов только одного из тумблеров *S4* или *S5* светящаяся точка стоит в начале координат не менее половины всего времени. Намного меньше, но все же вполне достаточно, она стоит в конце вертикальной линии изображения, приведенного на рис. 2, *г*.

Надо сказать, что при работе с описываемой приставкой вольтамперные характеристики исследуемых элементов «рисуются» на экране осциллографа не в том виде, как показано на рис. 2 или изображаются в справочниках, а перевернутыми. Это, конечно, неудобно. Поправить положение можно с помощью зеркала, приложенного перпендикулярно экрану. Лучше, однако, дополнить осциллограф двумя тумблерами, с помощью которых можно менять местами проводники пластин вертикального и горизонтального отклонения луча электронно-лучевой трубки и тем самым устанавливать график в любое удобное положение. У осциллографа С1-1, наиболее широко используемого для учебных целей, на задней стенке корпуса есть три тумблера, которыми пользуются очень редко. Два из них, помеченные знаками «X» и «Y», вполне можно приспособить для этой цели.

Все последующие иллюстрации в статье, как и на рис. 2, показаны в исправленном виде.

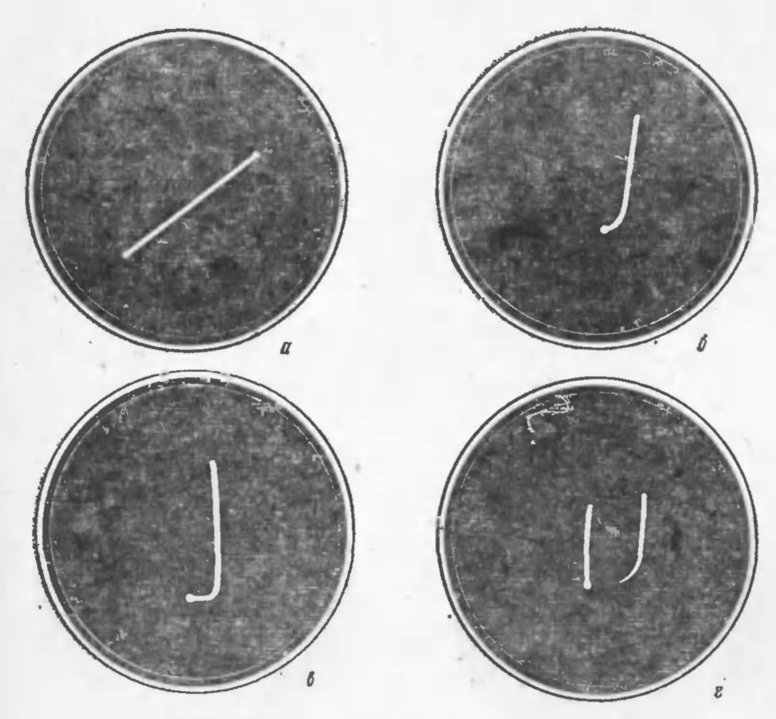


Рис. 3. Примеры характеристик двухполюсных элементов:
а — резистора; *б* — *г* — прямые ветви германиевого, кремниевого и туннельного диодов

Снятие вольтамперных характеристик других элементов с двумя выводами не отличается от описанного здесь применительно к стабилитрону. Для примера на рис. 3 показаны осциллограммы вольтамперных характеристик резистора (*а*) и прямые ветви характеристик германиевого (*б*), кремниевого (*в*) и туннельного (*г*) диодов.

Вольтамперные характеристики различных транзисторов и тринисторов снимать не сложнее. Разница только в том, что в управляющие цепи этих элементов подают дополнительное постоянное напряжение (или ток) от однополупериодного выпрямителя на диоде *V1*. Это напряжение или ток поступает на электроды исследуемого элемента через резистор *R2*, микроамперметр *PA1*, переключатель полярности *S3* и зажимы *X2*, *X4*. Резистор *R2* ограничивает ток в цепи, а микроамперметр *PA1*

измеряет этот ток. Переключателем *S2* резистор *R2* и микроамперметр можно зашунтировать резисторами *R3* или *R4*, сопротивления которых в 100 и 10 раз меньше сопротивления этого участка цепи. При этом во столько же раз изменяется предел измерения силы тока по шкале прибора *PA1*.

К разъему *X1* можно подключить внешний вольтметр для измерения выходного напряжения дополнительного источника постоянного тока. Это бывает нужно, например, при исследовании вольтамперных характеристик полевого транзистора.

Приведем несколько примеров снятия вольтамперных характеристик некоторых транзисторов и тринистора.

На рис. 4, *а* показана осциллограмма выходной вольтамперной характеристики транзистора ГТ404Г (*n-p-n*), включенного по схеме ОЭ, при токе базы, измеренном микроамперметром *PA1* и равном 50 мкА. База исследуемого транзистора подключена к зажиму *X2*, эмиттер — к зажиму *X4*, коллектор — к зажиму *X3*. Контакты тумблера *S4* замкнуты, а тумблера *S5* разомкнуты, поэтому полярность напряжения на коллекторе и базе транзистора относительно эмиттера положительная. Ток базы установлен резистором *R1*. Контакты переключателя *S2* соответствуют положению, показанному на схеме (см. рис. 1), контакты переключателя *S7* замкнуты. Перед исследованием осциллограф откалиброван по напряжению и току так, чтобы чувствительность характериографа по оси *X* была 2 В/см, а по оси *Y* — 2 мА/см.

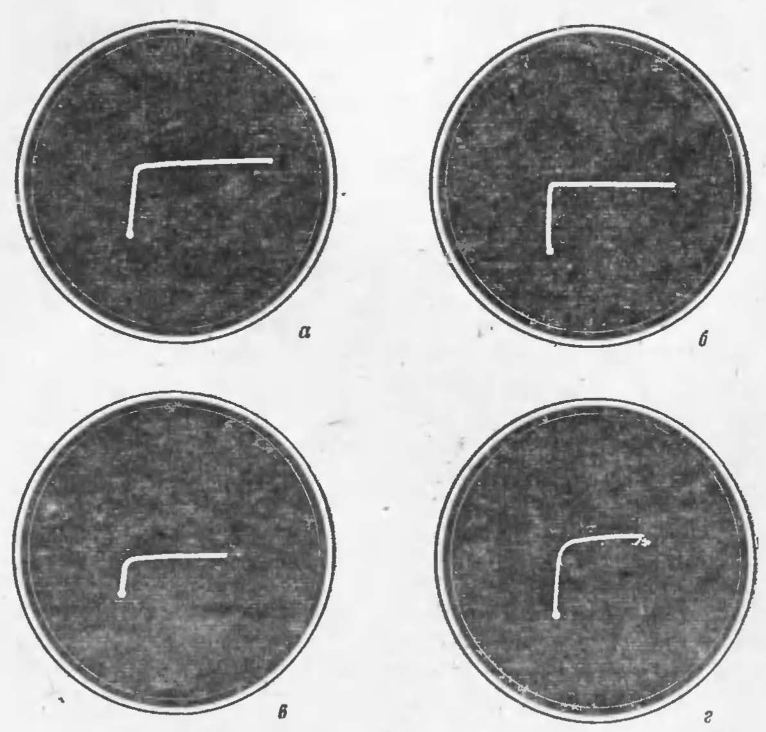


Рис. 4. Примеры выходных характеристик транзисторов:
а — ГТ404Г, включенного по схеме ОЭ; *б* — ГТ404Г, включенного по схеме ОБ; *в* — полевого транзистора КП303Ж, включенного по схеме ОИ; *г* — то же, при нулевом напряжении на затворе

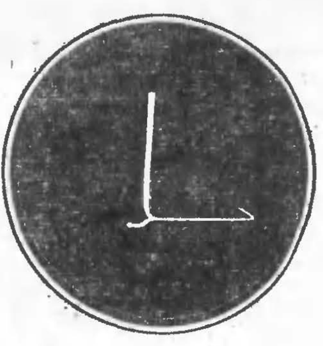
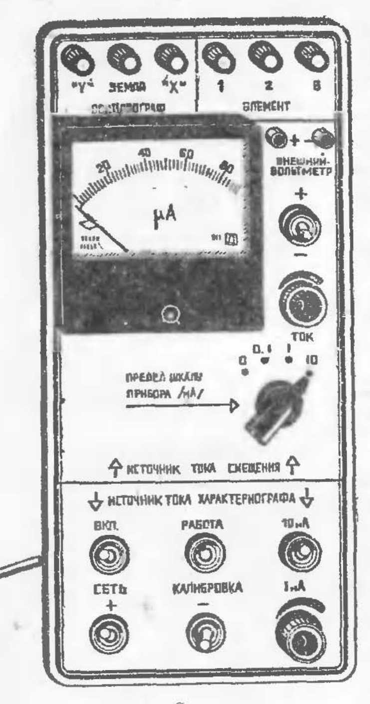


Рис. 5. Прямая ветвь характеристики тринистора

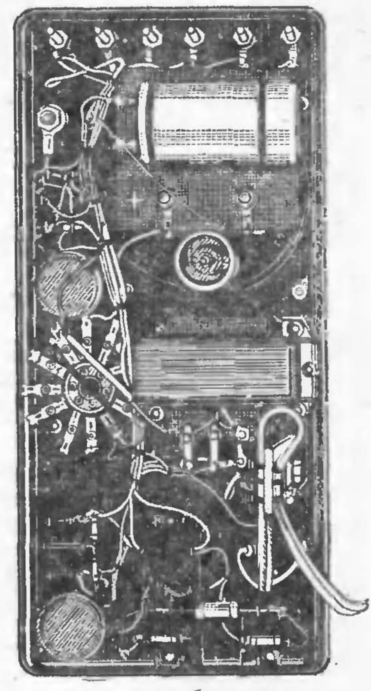
На рис. 4, *б* показана вольтамперная характеристика того же транзистора, но включенного по схеме ОБ, при токе эмиттера, равном 7 мА. База транзистора подключена к зажиму *X4*, коллектор — к зажиму *X3*, эмиттер — к зажиму *X2*. Переключатель *S2* в положении «*10 мА*», переключатель *S3* — в нижнем (по схеме) положении, контакты тумблеров *S4* и *S7* замкнуты, тумблера *S5* — разомкнуты.

Входные характеристики того же транзистора в схеме ОЭ мало чем отличаются от характеристики германиевого диода, показанной на рис. 3, *б*. Чтобы увидеть входную характеристику этого транзистора, включенного по схеме ОЭ, эмиттер надо подключить к зажиму *X4*, базу — к зажиму *X3*, коллектор — к зажиму *X2*, переключатель *S2* установить в положение «*10 мА*», переключатель *S3* — в положение «+», контакты тумблеров *S4* и *S7* замкнуть, тумблера *S5* — разомкнуть. Изменяя ток смещения резистором *R1*, нетрудно убедиться, что эта характеристика почти не зависит от напряжения на коллекторе и коллекторного тока.

На рис. 4, *в* приведена осциллограмма выходной вольтамперной характеристики полевого транзистора



а



б

Рис. 6. Характериограф:
а — внешний вид; *б* — расположение деталей в корпусе

КП303Ж, включенного по схеме ОИ. Сток, затвор и исток подключены соответственно к зажимам *X3*, *X2* и *X4*. Переключатель *S3* — в положении «—», контакты тумблера *S4* — замкнуты, тумблеров *S5* и *S7* — разомкнуты. Чувствительность прибора по оси *X* — 5 В/см, по оси *Y* — 0,5 мА/см. Характеристика того же транзистора при нулевом напряжении на затворе (переключатель *S2* — в положении «*О*») изображена на рис. 4, *г*.

Для исследования тринистора его анод, управляющий электрод и катод подключают соответственно к зажимам *X3*, *X2* и *X4*. Если нужно получить только прямую ветвь характеристики (рис. 5), переключатель *S2* устанавливают в положение «*О*», контакты *S4* замыкают, а *S5* — размыкают. Когда же надо получить обе ветви, то контакты тумблера *S5* замыкают, а положения

остальных переключателей и движков резисторов *R1* и *R6* устанавливают опытным путем.

Характериограф собран в пластмассовом корпусе размерами 265 × 125 × 60 мм. Его внешний вид и вид на монтаж показаны на рис. 6. В приборе использованы переменные резисторы *R1* и *R6* — СП-I, переключатель *S2* — галетный 5П2Н, *S3*, *S4* и *S7* — тумблеры, микроамперметр *PA1*-М2003 на ток полного отклонения стрелки 100 мкА. Трансформатор питания *T1* намотан на магнитопроводе Ш16 × 22; обмотка *I* содержит 3000 витков провода ПЭВ-1 0,12, обмотки *II* и *III* соответственно 500 и 200 витков провода ПЭВ-1 0,18.

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

В. Ринский

В последние годы заметно повысился интерес радиолюбителей к цифровой технике. И это не случайно: ее элементы находят широкое применение в измерительной технике, телевидении и связи, вычислительной технике, а также в других областях науки, техники и производства. Некоторые цифровые устройства, например счетчики, секундомеры, электроизмерительные приборы, уже сейчас внедрены в учебные процессы. Цифровых приборов становится все больше на выставках творчества радиолюбителей-конструкторов ДОСААФ.

В статье речь пойдет об учебно-демонстрационных пособиях, способствующих усвоению принципа работы элементов цифровой техники.

В комплект учебно-демонстрационных пособий входят полусумматоры, мультипликаторы, триггеры, эмиттерные повторители и другие элементы цифровой техники, построенные на базе распространенных дискретных компонентов. Индикация их состояний осуществляется лампами накаливания. Все устройства питаются от низковольтных источников постоянного тока, что обеспечивает безопасность работы с ними. Оформлены они в виде плоских функциональных модулей на однотипных платах единых габаритов. Будучи соединенными между собой, элементарные устройства образуют более сложные — модели двоичного сумматора и двоичного мультипликатора

пликатора. Они предназначены для демонстрации и изучения принципа действия арифметических устройств, в частности, операций сложения и умножения в двоичной системе счисления.

Для расширения учебно-демонстрационных возможностей применены устройства параллельного (одновременного) действия, не содержащие элементов оперативной памяти. Благодаря этому исходные числа и их разряды можно вводить в произвольном порядке и по выбору наблюдать накопление результата по мере ввода данных или сразу получать окончательный результат. В устройствах предусмотрена индикация состояний на промежуточных этапах вычислений: при сложении — образование суммы и осуществление переноса в старший разряд, с возможностью записи результата в регистр для запоминания и хранения; при умножении — образование частичных произведений разрядов сомножителей.

Двоичная система счисления. В арифметических и логических устройствах цифровой техники используется преимущественно двоичная система счисления, содержащая всего две цифры — 0 и 1. Арифметические действия с двоичными числами такие же, как и с десятичными, причем переполнение младшего разряда результата сопровождается переносом 1 в старший разряд.

Таблица сложения

$0 + 0 = 0$
$1 + 0 = 1$
$0 + 1 = 1$
$1 + 1 = 10 = 10$
←

и

таблица умножения

$0 \cdot 0 = 0$
$1 \cdot 0 = 0$
$0 \cdot 1 = 0$
$1 \cdot 1 = 1$

позволяют производить вычисления и с многоразрядными двоичными числами.

Представление двоичных цифр низким и высоким уровнями напряжения в сочетании с исключительной простотой таблиц сложения и умножения позволяют строить элементы цифровой техники на транзисторах, работающих в ключевом режиме. В таком режиме транзистор, как известно, может находиться в одном из двух

состояний: открытом или закрытом. Существенное различие этих состояний транзисторов обеспечивает безошибочное распознавание соответствующих им цифр 0 или 1.

В связи с тем что в устройствах используются транзисторы структуры *p-n-p*, принята отрицательная логика, при которой логическому 0 соответствует напряжение —(0,3—0,4) В, а логической 1 — напряжение 0 — (—0,1) В. Разность уровней напряжения 0 и 1 составляет примерно 0,2 В, что вполне достаточно для их различения элементами устройств. Информация, обрабатываемая цифровыми устройствами, описывается логическими переменными, обозначаемыми буквами *A*, *B* и т. д., которые могут принимать значения двоичных цифр 0 и 1. От переменных образуются простые логические функции — отрицание (инверсия) $\overline{A}$, $\overline{B}$, сложение (дизъюнкция) $A + B$, умножение (конъюнкция) AB, а также сложные функции, т. е. функции от функций. Значения функций, реализуемых в цифровых устройствах, выражают логическими 0 и 1, соответствующими низкому и высокому уровням напряжения.

Мультипликатор. Функция произведения $П = AB$ одноразрядных сомножителей образуется на выходе мультипликатора — цифрового устройства, выполненного по схеме, изображенной на рис. 1, *а*. Транзисторы *V1—V3*, включенные по схеме ОЭ, инвертируют напряжения, поступающие на их базы. Напряжения, соответствующие сомножителям *A* и *B*, подают на базы транзисторов *V1*,

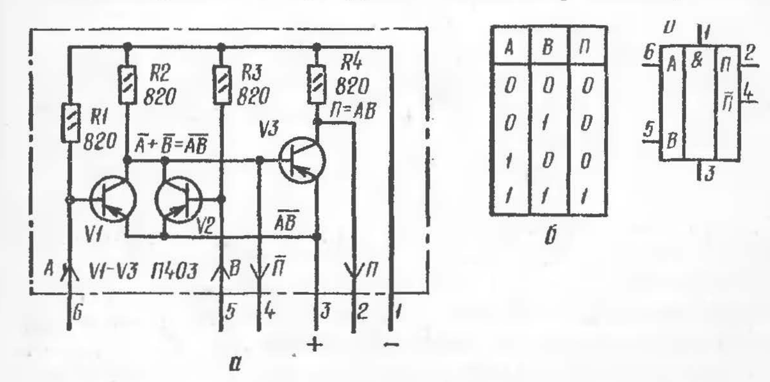
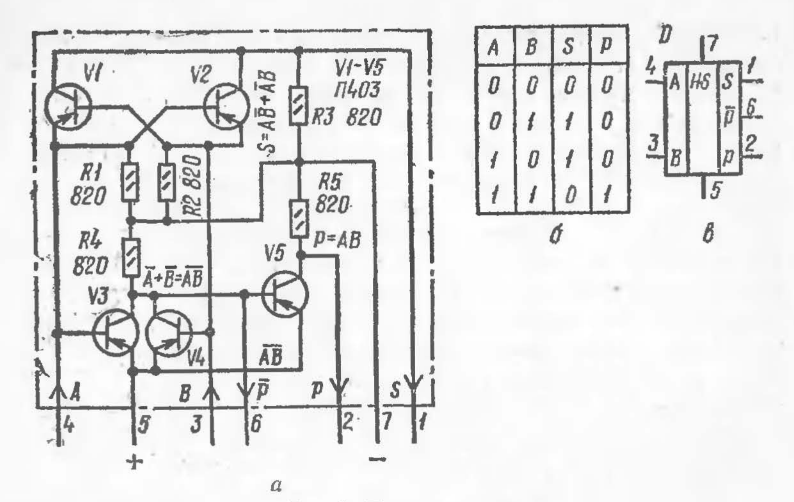


Рис. 1. Мультипликатор:
а — принципиальная схема; *б* — таблица состояний; *в* — условное обозначение



A	B	S	P
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

б

Рис. 2. Полусумматор:

а — принципиальная схема; *б* — таблица состояний; *в* — условное обозначение

V2, и на их коллекторах получаются инверсии $\overline{A}$ и $\overline{B}$. А так как коллекторы этих транзисторов соединены и имеют общую нагрузку, на них образуется дизъюнкция инверсий $\overline{A}+\overline{B}$, которая, как нетрудно проверить подстановкой логических 0 и 1, равна инверсии конъюнкции $\overline{AB}$. Эта функция инвертируется транзистором *V3*, в результате чего получается искомое произведение $П = \overline{\overline{AB}} = AB$.

Выходная функция *П* мультипликатора описывается таблицей состояний (таблицей истинности), приведенной на рис. 1, *б*, полностью совпадающей с двоичной таблицей умножения.

В дальнейшем, для упрощения схем элементов цифровых устройств, мультипликаторы на них изображаются условно, по рис. 1, *в*. Цифры у соединительных линий совпадают с номерами выводов на монтажной плате, описываемой ниже. Показанный на рис. 1, *в* вывод *4* инвертированного выхода $\overline{П}$ используется только для контроля исправности мультипликатора.

Полусумматор и сумматор. Полусумматор представляет собой цифровое устройство с двумя входами слагаемых *A*, *B* и двумя выходами суммы *S* и переноса *P*

в старший разряд суммы 1 при переполнении младшего разряда. Таблице сложения двоичных чисел соответствуют логические функции $S = A\overline{B} + \overline{A}B$ и $P = AB$, где *A* и *B* могут быть логическими 0 или 1. В полусумматоре, изображенном на рис. 2, *а*, функцию логических элементов для получения суммы *S* выполняют транзисторы *V1* и *V2*, которые инвертируют напряжения, поступающие на их базы, и не инвертируют напряжения, поступающие на эмиттеры. Напряжение со входа *A* подается на эмиттер транзистора *V1*, а со входа *B* — на его базу. В результате на коллекторе транзистора получается конъюнкция $A\overline{B}$. Таким же образом реализуется конъюнкция $\overline{A}B$ на коллекторе транзистора *V2*. Поскольку коллекторы транзистора *V1* и *V2* соединены между собой, на выходе *S* получается дизъюнкция конъюнкций $A\overline{B} + \overline{A}B$.

Транзисторы *V3—V5* образуют мультипликатор, аналогичный описанному выше. Поэтому на выходе переноса *P* получается конъюнкция *AB*.

Действие полусумматора описывается таблицей состояний, приведенной на рис. 2, *б*, в которой отображены все возможные сочетания слагаемых *A* и *B* и соответствующие им значения функций *S* и *P*.

Условное обозначение полусумматора изображено на рис. 2, *в*. Вывод *6* инвертированного выхода $\overline{P}$ используется только для контроля работоспособности полусумматора.

При сложении многоразрядных двоичных чисел полусумматор может быть использован только в первом разряде. В старших же разрядах необходимо обеспечить возможность сложения двух слагаемых, а также переноса, поступающего из предыдущего разряда, т. е. трех двоичных чисел, которые могут принимать значения 0 или 1. Для этого используют трехвходовое суммирующее устройство — сумматор (полный сумматор).

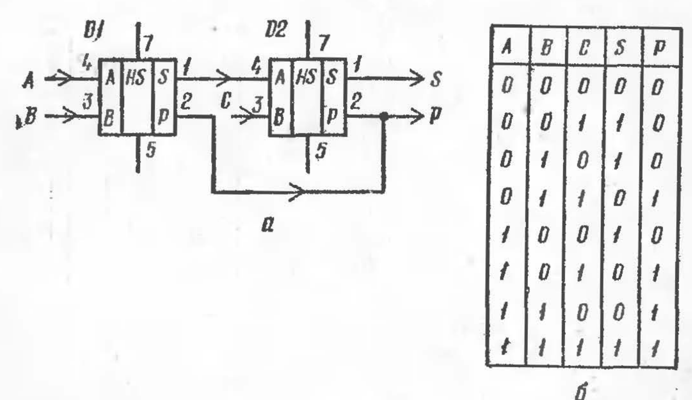
Существуют различные способы построения сумматоров из более простых элементов. В частности, сумматор может быть образован из двух полусумматоров, соединенных, как показано на рис. 3, *а*. На входы *4* и *3* полусумматора *D1* подают слагаемые *A* и *B* — напряжения, соответствующие значениям цифр в данном разряде слагаемых. Их сумма с выхода *1* этого полусумматора

и перенос *C* из предыдущего разряда поступают на аналогичные входы полусумматора *D2*. На его выходе *S* получается результат сложения *A*, *B* и *C* в данном разряде. Что же касается переноса в следующий разряд, то он происходит при переполнении сумматора, которое, в зависимости от значений *A*, *B* и *C*, может произойти в полусумматорах *D1* или *D2*. Поэтому сигнал переноса снимается с соединенных вместе выходов *P* обоих полусумматоров и возникает при переполнении любого из них. При таком соединении выходная функция *P* сумматора является дизъюнкцией переносов на выходах полусумматоров.

Таблица состояний сумматора для всех возможных сочетаний значений *A*, *B* и *C* приведена на рис. 3, *б*.

Эмиттерный повторитель. При построении цифровых устройств возникает необходимость электрического согласования соединяемых элементов. В ряде случаев высокоомный выход элемента должен быть связан с низкоомным входом одного или нескольких последующих элементов. Поэтому для подключения низкоомных нагрузок приходится применять эмиттерный повторитель, обладающий относительно высоким входным и малым выходным сопротивлениями.

По конструктивным соображениям целесообразно объединять два эмиттерных повторителя, как показано на схеме рис. 4, *а*. Малые сопротивления резисторов в



A	B	C	S	P
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Рис. 3. Сумматор, составленный из двух полусумматоров:
а — схема; *б* — таблица состояний

цепях эмиттеров позволяют подключать к ним низкоомные нагрузки.

Выходные функции *S'* и *P'* эмиттерных повторителей совпадают с соответствующими входными *S* и *P* (см. таблицу состояний на рис. 4, *б*). Условное обозна-

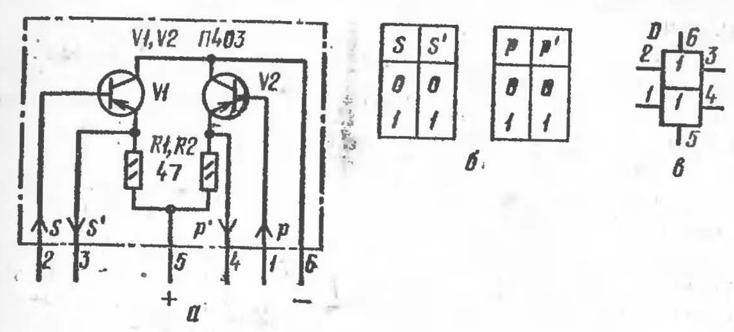


Рис. 4. Эмиттерный повторитель:
а — принципиальная схема; *б* — таблица состояний; *в* — условное обозначение

чение сдвоенного эмиттерного повторителя показано на рис. 4, *в*.

Индикатор. Индикатор состояний цифровых устройств (рис. 5, *а*) представляет собой трехкаскадный усилитель

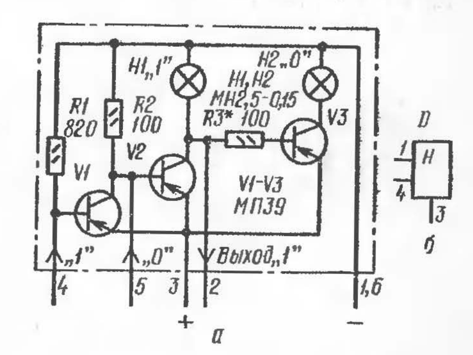
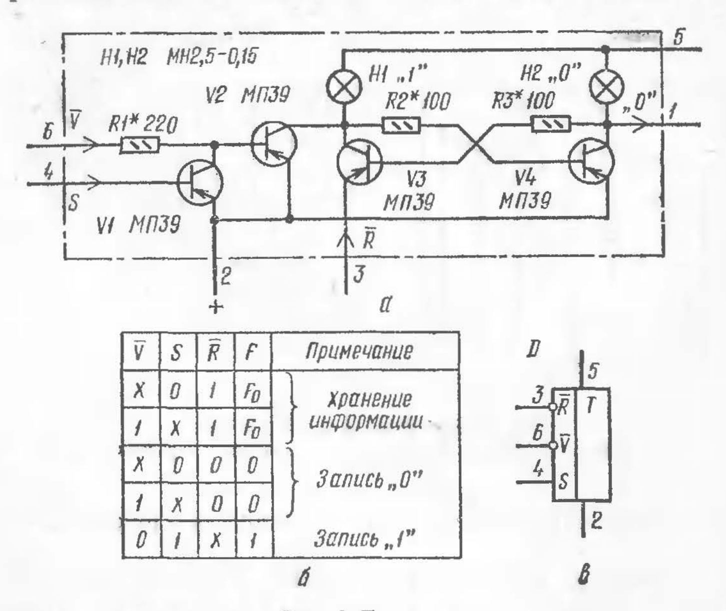


Рис. 5. Индикатор:
а — принципиальная схема;
б — условное обозначение

постоянного тока на транзисторах *V1—V3*, включенных по схеме ОЭ. Транзистор *V1* — предварительный усилитель. В коллекторные цепи транзисторов *V2* и *V3* усилителя мощности включены лампы накаливания *H1* и *H2* — индикаторы «1» и «0». При поступлении на вход

«1» низкого напряжения транзисторы *V1* и *V3* закрыты, а *V2* открыт — светится лампа *H1*. Если же низкое напряжение не подано на вход «1», то светится лампа *H2*,



$\bar{V}$	S	$\bar{R}$	F	Примечание
X	0	1	F_0	Хранение информации
1	X	1	F_0	
X	0	0	0	Запись „0"
1	X	0	0	
0	1	X	1	Запись „1"

Рис. 6. Триггер:

а — принципиальная схема; *б* — таблица состояний; *в* — условное обозначение

так как в это время транзисторы *V1* и *V3* открыты, а транзистор *V2* закрыт.

Вспомогательные вход «0» и «Выход 1» индикатора используют лишь для контроля исправности устройства, поэтому на его условном обозначении (рис. 5, *б*) они не показаны.

Триггер. Для запоминания и хранения результатов вычислений, выраженных в двоичной системе счисления, используют триггеры (рис. 6, *а*). Транзисторы *V3* и *V4* с лампами *H1* (индикатор уровня «1») и *H2* (индикатор уровня «0») в коллекторных цепях образуют собственно триггер, а транзисторы *V1*, *V2* служат для установки триггера в состояние «1». Запись 1 через установочный вход *S* возможна только при наличии отрицательного напряжения на разрешающем входе $\bar{V}$. Сброс

показаний триггера на «0» — запись 0 — производят кратковременным отключением эмиттера транзистора *V3* (вход $\bar{R}$) от положительного полюса источника питания.

Зависимость выходной функции триггера *F* от значений переменных *R*, *V*, *S* и предшествующего значения F_0 приведена в таблице состояний (рис. 6, *б*). Обозначение триггера на схемах показано на рис. 6, *в*. Знаком *X* в таблице обозначена нечувствительность триггера к сигналу по данному входу при указанных уровнях сигналов на других входах.

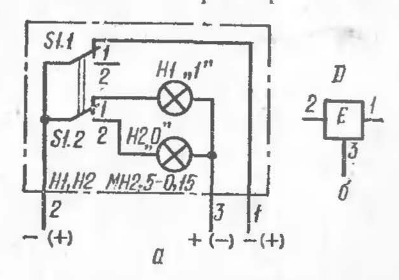


Рис. 7. Коммутатор:

а — принципиальная схема; *б* — условное обозначение

Коммутатор. Коммутаторы служат для ввода в цифровые устройства числовых данных, переключений в цепях индикации, источников питания и т. д. Коммутатор, собранный по схеме рис. 7, *а*, состоит из переключателя *S1*, одна из секций которого (*S1.1*) замыкает цепи управления, а вторая (*S1.2*) переключает индикаторные лампы *H1* («1») и *H2* («0»). Условное обозначение коммутатора показано на рис. 7, *б*.

Конструкция и проверка модулей. Монтаж описанных здесь элементов цифровой техники показан на рис. 8. Все элементы выполнены в виде плоских модулей на платах размерами 100 × 70 мм из гетинакса толщиной 2 мм. В плате коммутатора вырезано окно размерами 30 × 18 мм под корпус переключателя *S1* (тумблер ТП1-2). Одинаковые платы целесообразно обрабатывать одновременно, и отверстия в них сверлить с помощью платы-кондуктора. Выводы транзисторов и резисторов изогнуты, залужены и пропущены сквозь отверстия диаметром 1,5 мм. Лампы индикатора, триггера и коммутатора крепят к платам проволочными скобами, припаянными к цоколям и служащими их выводами. Расстояние между осями ламп, 40 мм. Переключатель коммутатора крепят отрезком провода, охватывающим втулку, и дополнительно монтажными проводниками, припаянными к выводным лепесткам.

Монтаж выполнен отрезками изолированного луженого провода диаметром 0,7 мм. На рис. 8 соединительные проводники, находящиеся с обратной стороны плат, показаны штриховыми линиями. Соединения сделаны скруткой монтажных проводников с выводами деталей с последующей их пропайкой.

Выводы модулей образованы продолжениями монтажных проводников, пропущенных через отверстия в платах и скрученных втрое. Выправленные и пропаянные выводы выступают снизу плат на длину 15 мм.

Возможен печатный монтаж на платах из фольгиро-

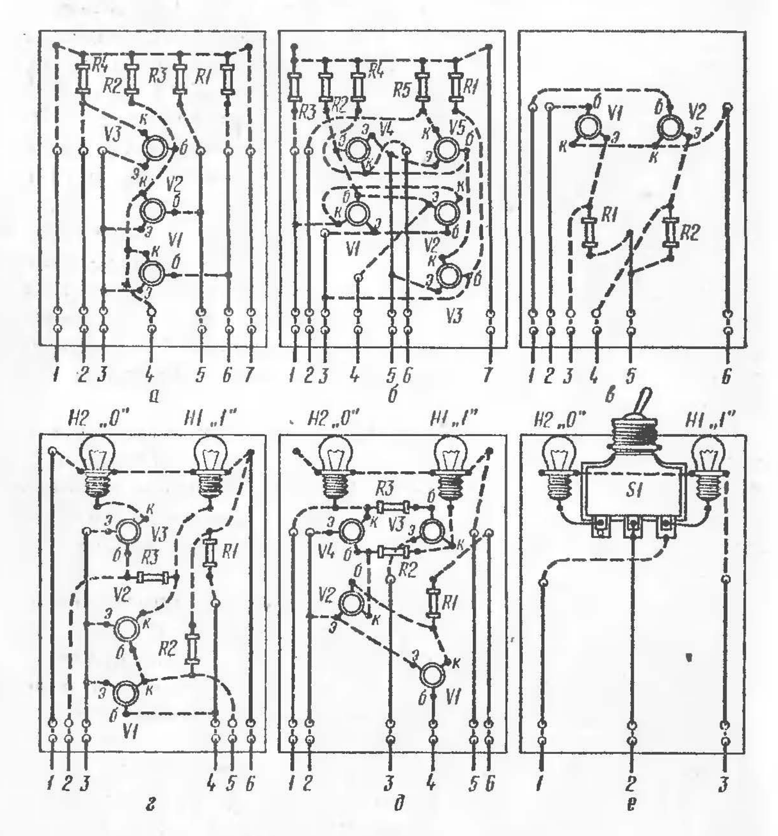


Рис. 8. Монтажные схемы элементов:

а — мультипликатора; *б* — полусумматора; *в* — эмиттерного повторителя; *г* — индикатора; *д* — триггера; *е* — коммутатора

ванного материала. В таком случае надо скорректировать токонесущие проводники так, чтобы они не пересекались.

Транзисторы П403 можно заменить транзисторами серий П401, П402, П416, П422, П423, а МП39 — транзисторами МП25, МП26, МП40, МП41, МП42. Лампы накаливания могут быть МН2,5-0,068 или МН1-0,068. Резисторы любых типов.

Смонтированные модули, в которых использованы заведомо исправные детали, обычно не требуют н а л а ж и в а н и я. Тем не менее желательно проверить действие каждого модуля для обеспечения надежной и устойчивой работы собираемых из них более сложных устройств. Подключив к модулю источник питания напряжением 1,1—1,5 В, например элемент 373, и ничего не подключая ко входу, что соответствует уровню 0, вольтметром постоянного тока с относительным входным сопротивлением не менее 5 кОм/В измеряют напряжение на выходе. Затем на вход, соединив его с положительным полюсом источника питания, подают уровень 1. Работу модуля при различных сочетаниях значений входных переменных оценивают, руководствуясь таблицей его состояний. Наиболее вероятная причина возможных неисправностей — использование в модуле «плывущего» транзистора (из-за большого обратного тока коллекторного перехода).

О работоспособности индикаторов и триггеров можно судить по свечению их ламп накаливания. Следует, однако, иметь в виду, что яркость свечения даже однотипных ламп неодинаковая. В связи с этим для каждого модуля желательно подобрать лампы примерно одинаковой яркости свечения.

Двоичный сумматор. Схема модели двоичного сумматора, предназначенного для демонстрации и изучения принципа действия арифметических устройств, приведена на рис. 9. Он содержит элементы ввода слагаемых, суммирующее устройство, индикаторы суммы, регистр суммы и элементы управления.

Систему ввода образуют коммутаторы *D1*, *D6*, *D10* и *D15*, с помощью которых на входы суммирующего устройства подают напряжения, соответствующие уровням 0 и 1. Индикация вводимых слагаемых осуществляется лампами накаливания при замыкании цепи питания ламп

коммутатором индикации *D19*. При выключенной индикации значения вводимых слагаемых определяют по положению ручек тумблеров коммутаторов *D1, D6, D10, D15.*

Суммирующее устройство производит сложение чисел, которые могут вводиться в него поочередно или по-

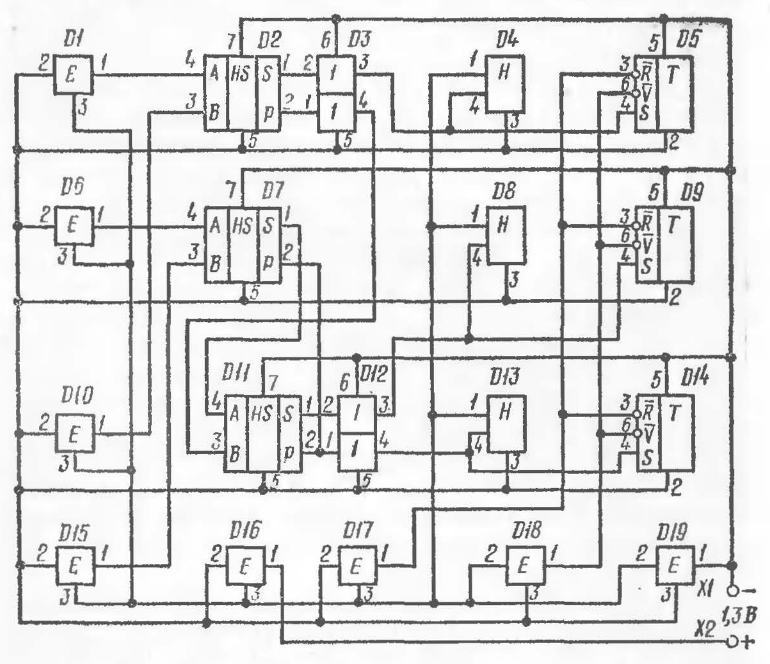


Рис. 9. Принципиальная схема модели двоичного сумматора

разрядно. Сложение в первом разряде осуществляется полусумматором *D2*, на входы которого подают напряжения от коммутаторов *D1* и *D10*. Сложение во втором разряде производится сумматором, образованным полусумматорами *D7* и *D11*. На входы сумматора поступают напряжения от коммутаторов *D6* и *D15*, а также перенос из первого разряда — с выхода переноса полусумматора *D2* (через эмиттерный повторитель *D3*). В сумматоре получается значение второго разряда вычисляемой суммы и перенос ее в третий разряд. Для устранения влияния нагрузок на полусумматоры применены эмиттерные повторители *D3, D12*, что обеспечивает возможность ра-

боты суммирующего устройства на разветвленные низкоомные нагрузки.

Индикаторы сумм каждого разряда *D4*, *D8*, *D13* связаны с выходами соответствующих эмиттерных повторителей. Результаты сложения отображают лампы накаливания индикаторов при замыкании цепи их питания коммутатором *D19*.

Регистр суммы служит для записи и хранения результата сложения с помощью триггеров *D5*, *D9*, *D14*, на установочные входы которых поступают напряжения от эмиттерных повторителей. Запись результата в регистр производится после подачи на разрешающие входы триггеров отрицательного напряжения с коммутатора *D18*. Если затем разомкнуть контакты переключателя коммутатора *D18*, то записанное число будет храниться в регистре независимо от последующих изменений состояния суммирующего устройства. Для сброса показаний триггеров на «0», т. е. для стирания записи, служит коммутатор *D17*. Индикация состояния регистра лампами накаливания его триггеров не зависит от коммутатора *D19* и сохраняется при размыкании контактов его переключателя. Эти особенности модели двоичного сумматора позволяют отображать на индикаторах суммы результат текущих, а в регистре — предшествующих вычислений, т. е. использовать регистр в качестве простейшего запоминающего устройства.

Питание модели осуществляется через коммутатор *D16* от источника постоянного тока напряжением 1,3—1,5 В, подключаемого к зажимам *X1* и *X2*. Можно использовать аккумуляторы НКН-22, НКН-10 или элементы 373, соединяя их в батареи.

Элементы модели двоичного сумматора смонтированы на гетинаксовой плате размерами 300 × 200 × 2 мм (рис. 10). В плате просверлены отверстия диаметром 3 мм для выводов устанавливаемых на ней модулей. Соединения выполнены луженым проводом диаметром 1 мм.

В коммутаторах *D16* и *D19* необходима только индикация их включения. Поэтому ламп накаливания *H2* (по рис. 7, *а* и рис. 8, *е*) в них нет.

Рассмотрим порядок управления моделью двоичного сумматора и процессы, происходящие в нем, при сложении двухразрядных чисел, например 11 + 10 = 101

а

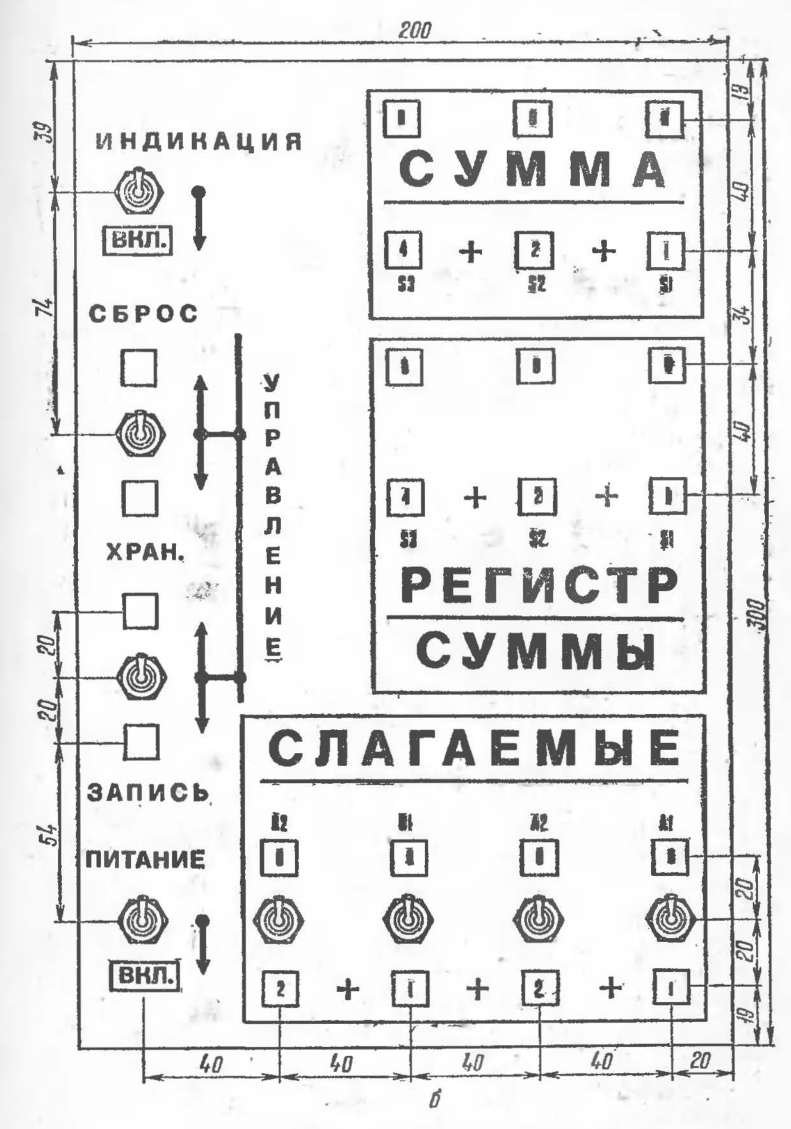


Рис. 10. Модель двоичного сумматора:
а — монтажная схема; *б* — панель управления

(что соответствует 3 + 2 = 5 в десятичной системе счисления).

Подготовка к работе. Коммутаторы питания *D16* и индикации *D19* устанавливают в положение *«Включено»*, коммутаторы ввода *D1*, *D6*, *D10* и *D15* — в положение «0», коммутатор *D18* — в положение *«Хранение»*; коммутатор *D17* устанавливают сначала в положение *«Сброс»*, а затем в положение *«Хранение»*. После этого все идикаторы модели показывают «0».

Ввод первого слагаемого. Коммутаторы *D1* и *D6* устанавливают в положение «1». На вход *A* полусумматора *D2* поступает уровень 1, а на вход *B* — 0. На выходе *S* этого полусумматора получается уровень 1, который через эмиттерный повторитель *D3* поступает на вход индикатора *D4* и вход *S* триггера *D5*. На вход *A* полусумматора *D7* поступает уровень 1, а на вход *B* — 0. На входе *S* полусумматора *D7* получается уровень 1, который передается на вход *A* полусумматора *D11*. С выхода *S* этого полусумматора уровень 1 через эмиттерный повторитель *D12* поступает на вход индикатора *D8* и вход *S* триггера *D9*. Индикаторы *D4*, *D8* и *D13* показывают введенное слагаемое 011. Триггеры же *D5*, *D9* и *D14* показывают 000, так как на их входы $\overline{V}$ не поступает напряжение, разрешающее запись.

Ввод второго слагаемого. Коммутатор *D10* оставляют в положении «0», а *D15* переводят в положение «1». При поступлении уровня 1 на вход *B* полусумматора *D7*, на входе *A* которого уже действует уровень 1, на его выходе *S* появляется уровень 0. Это приводит к появлению уровня 0 и на выходе *S* полусумматора *D11*. Он передается через эмиттерный повторитель *D12* на вход индикатора *D8* и вход *S* триггера *D9*. Наличие уровня 1 на входах *A* и *B* полусумматора *D7* вызывает на его выходе *P* уровень 1, который через вывод *4* эмиттерного повторителя *D12* подается на вход индикатора *D13* и вход *S* триггера *D14*. Теперь индикаторы *D4*, *D8* и *D13* показывают результат сложения — число 101. Триггеры *D5*, *D9* и *D14* по-прежнему показывают 000.

Запись результата в регистр. Коммутатор *D18* переводят в положение *«Запись»*, и на входы $\overline{V}$ триггеров поступает напряжение разрешения записи. При этом в регистр записывается результат 101.

Хранение результата. Коммутатор *D18* возвращают в положение *«Хранение»*. После этого можно вводить другие числа, производить их сложение, выключать индикацию, но записанный результат 101 продолжает сохраняться в «памяти» регистра.

Стирание записи. Коммутатор *D17* переводят в положение *«Сброс»* и возвращают в положение *«Хранение»*. Триггеры показывают 000, т. е. регистр освобождается от хранившегося в нем числа.

Монтажная схема и панель управления макета двоичного сумматора показаны на рис. 10.

Модель двоичного мультипликатора. Модель, предназначенная для демонстрации и изучения принципа умножения двоичных чисел, представляет собой специализированное арифметическое устройство параллельного действия.

Для обоснования структуры модели рассмотрим, в качестве примера, умножение двухразрядных чисел 11 · 11 = 1001 (соответствует 3 × 3 = 9 в десятичной системе счисления). Процесс умножения при общепринятой записи «в столбик» состоит из следующих этапов:

Ввод множимого и множителя	×11 11
Вычисление частичного произведения первого разряда множителя на первый разряд множимого	×11 11 ...1
Вычисление частичного произведения первого разряда множителя на второй разряд множимого	×11 11 11
Вычисление частичного произведения второго разряда множителя на первый разряд множимого и запись его со сдвигом на разряд влево	×11 11 11 ...1
Вычисление частичного произведения второго разряда множителя на второй разряд множимого	×11 11 11 11

Сложение частичных произведений с учетом переносов в старшие разряды в случае переполнения младших	$\times\frac{11}{11}$ $+\frac{11}{11}$ $\overline{1001}$

Первый разряд полного произведения совпадает с частичным произведением первых разрядов множителя и множимого. Поэтому он может быть получен на выходе одноразрядного мультипликатора, на входы которого поданы уровни, соответствующие значениям первых разрядов множителя и множимого. Для вычисления второго разряда полного произведения нужно найти частичные произведения первого разряда множителя на второй разряд множимого и второго разряда множителя на первый разряд множимого с помощью двух мультипликаторов, а их выходы соединить со входами полусумматора. На его выходах будут получены сумма (второй разряд полного произведения) и перенос в третий разряд, в который входит также частичное произведение вторых разрядов множителя и множимого. Это частичное произведение находят с помощью мультипликатора, а сложение осуществляется вторым полусумматором. На его выходах получаются сумма (третий разряд полного произведения) и перенос в четвертый разряд. Таким образом, для выполнения арифметических операций необходимы четыре мультипликатора и два полусумматора.

Модель, схема которой показана на рис. 11, включает в себя устройства: ввода сомножителей, множительное, суммирующее, индикации произведения и управления.

Ввод двухразрядных множимого и множителя осуществляется коммутаторами *D1*, *D5*, *D10* и *D14*, с которых напряжения, соответствующие уровню 0 или 1, подаются на входы множительного устройства, образованного мультипликаторами *D2*, *D6*, *D11* и *D15*. Входы мультипликаторов соединены с коммутаторами так, что конъюнкции, получаемые на выходах, равны частичным произведениям разрядов множителя и множимого. Частичное произведение первых разрядов с выхода мультипликатора *D2* поступает непосредственно на индикатор

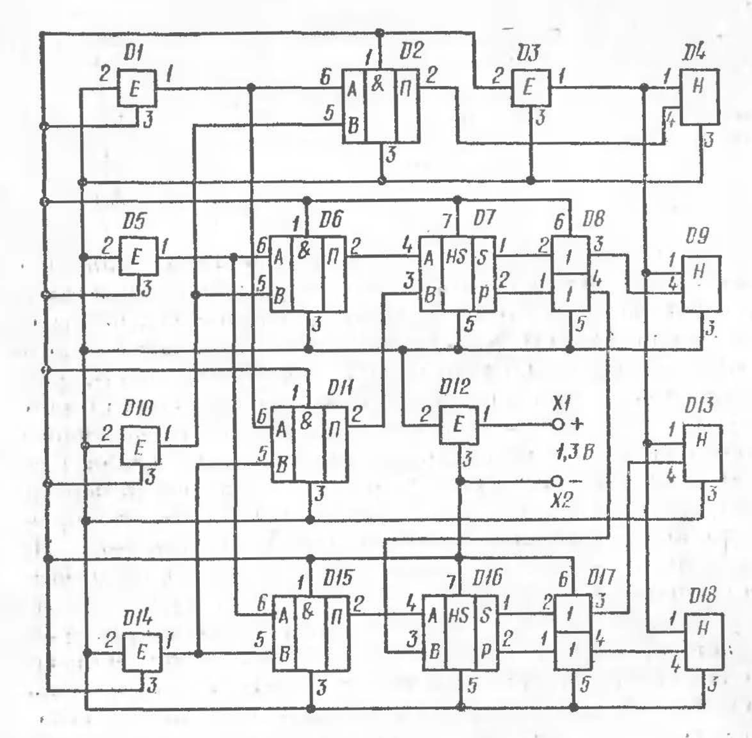


Рис. 11. Принципиальная схема модели двоичного мультипликатора

первого разряда *D4*. Обработка остальных частичных произведений происходит в суммирующем устройстве.

Частичные произведения второго разряда множимого на первый разряд множителя на выходе мультипликатора *D6* и первого разряда множимого на второй разряд множителя на выходе мультипликатора *D11* суммируются полусумматором *D7*. Выход суммы этого элемента через эмиттерный повторитель *D8* связан со входом индикатора второго разряда *D9*, а выход переноса — через тот же эмиттерный повторитель с одним из входов полусумматора *D16*. На другой его вход поступает произведение вторых разрядов множителя и множимого с выхода мультипликатора *D15*. Выходы суммы и переноса полусумматора *D16* через эмиттерные повторители *D17*



Рис. 12. Модель двоичного мультипликатора:
а — монтажная схема; *б* — панель управления

соединены соответственно со входами индикаторов третьего и четвертого разрядов *D13* и *D18*.

Лампы накаливания в индикаторах *D4*, *D9*, *D13*, *D18* и коммутаторах *D1*, *D5*, *D10*. *D14* включаются при замыкании коммутатора *D3*. Это позволяет либо наблюдать за накоплением полного произведения в процессе ввода множимого и множителя, либо получать окончательный результат уже после их ввода.

Модель (рис. 12) питается от аккумулятора, например НКН-22, НКН-10, или батареи из 6—8 соединенных параллельно элементов 373. В коммутаторах *D3* и *D12* нет лампы накаливания *H2* (см. рис. 7, *а* и рис. 8, *е*). Прочие элементы модели не имеют каких-либо особенностей.

ЛИТЕРАТУРА

Анисимов Б. В., Савельев А. Я. Основы конструирования и производства ЭВМ.— М.: Высшая школа, 1972.

Войцеховский Я. Радиоэлектронные игрушки. Пер. с польск.— М.: Советское радио, 1976, с. 398—413.

Голышев Л. К. Электронные цифровые вычислительные машины.— Киев: Техника, 1965.

Комский Д. М. Техническая кибернетика.— М.: Изд-во ДОСААФ, 1976.

Преснухин Л. Н. и др. Основы конструирования микроэлектронных вычислительных машин.— М.: Высшая школа, 1976.

Цифровые вычислительные машины (элементы, узлы и устройства машины). Лабораторный практикум / Под ред. Соловьева Г. Н.— М.: Атомиздат, 1977.

Кальнин Б. Основы вычислительной техники.— Радио, 1979, № 5—12.

ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ НЧ

В. Иваненко

Описываемый здесь стереофонический усилитель имеет следующие технические характеристики:

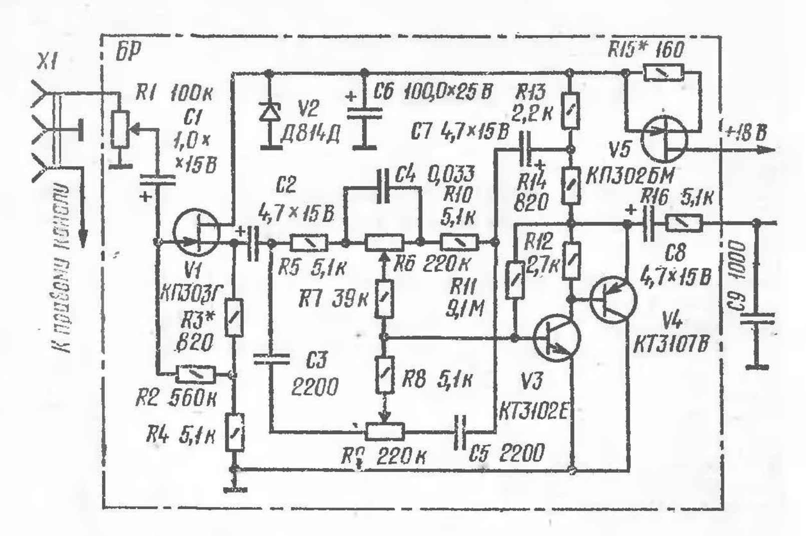
Номинальная выходная мощность на нагрузке сопротивлением 4 Ом, Вт	25
Коэффициент гармоник в полосе частот 30 Гц — 20 кГц при номинальной выходной мощности и максимальном подъеме АЧХ не более, %	0,45
Диапазон регулировки тембра, дБ:	
на частоте 30 Гц	±22
на частоте 20 кГц	±20
Чувствительность, мВ	250
Отношение сигнал/шум, дБ	77
Выходное сопротивление, Ом	0,15

Принципиальная схема одного из каналов усилителя (левого) приведена на рис. 1. Он состоит из блока регулировок (БР) и усилителя мощности (УМ). Блок питания (рис. 2) общий для обоих каналов стереофонического усилителя.

Сигнал звуковой частоты поступает через разъем *X1* на вход блока регулировок. Регуляторы громкости в каналах усилителя раздельные, что позволило исключить регулятор стереобаланса. С переменного резистора *R1*, выполняющего роль регулятора громкости, сигнал поступает на истоковый повторитель *V1*, а от него — на активный регулятор тембра, выполненный на транзисторах *V3* и *V4*. Регулировка тембра по низшим частотам осуществляется переменным резистором *R6*, по высшим — переменным резистором *R9*.

Блок регулировок питается от общего источника через стабилизатор напряжения, в котором включены полевой транзистор *V5* и стабилитрон *V2*. Использование здесь полевого транзистора позволило при простом построении стабилизатора получить очень малую амплитуду пульсаций.

С выхода блока регулировок сигнал через конденсатор *C8* и резистор *R16* поступает на вход усилителя мощности.



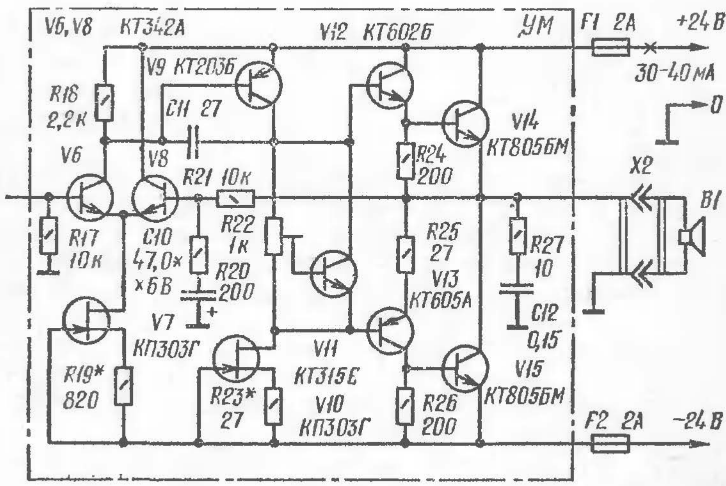


Рис. 1. Принципиальная схема канала усилителя

Усилитель мощности состоит из дифференциального каскада (транзисторы *V6*, *V8*), усилителя напряжения, выполненного на транзисторе *V9*, и двухтактного каскада на составных транзисторах *V12V14* и *V13V15*. Применение в усилителе мощности глубокой отрицательной

обратной связи по постоянному току, осуществляемой через резистор *R21*, позволяет получить хорошую стабильность рабочей точки выходного каскада.

Транзистор *V11*, который укрепляют на радиаторе одного из выходных транзисторов (*V14* или *V15*), выполняет функцию термостабилизирующего элемента.

Ток покоя транзисторов выходного каскада, равный 30—40 мА, устанавливают подстроечным резистором *R22*. Конденсатор *C11* — элемент частотной коррекции усилителя. Цепь *C12R27* обеспечивает усилителю устойчивость работы при отключенной нагрузке.

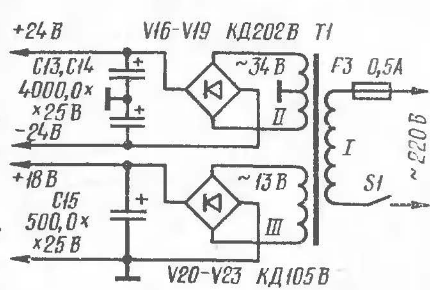


Рис. 2. Схема блока питания

Блок питания, схема которого изображена на рис. 2, состоит из трансформатора с двумя понижающими обмотками и двух выпрямителей: двуполярного с выходным напряжением 2 × 24 В, используемого для питания усилителя мощности, и однополярного с выходным напряжением 18 В — для питания транзисторов блока регулировок. Для защиты выходных транзисторов усилителя мощности и деталей блока питания от перегрузок и коротких замыканий на выходе усилителя мощности в цепи питания включены плавкие предохранители *F1* и *F2* (см. рис. 1).

В усилителе применены постоянные резисторы МЛТ-0,25 и МЛТ-0,5. Подстроечные резисторы типа СП5-16, переменные СП3-23 группы А (для регуляторов тембра) и группы В (для регуляторов громкости). Конденсаторы типов К53-4, КТ-1, К50-6, К50-12, плавкие предохранители ВП1-2. Статические коэффициенты передачи тока транзисторов ($h_{21э}$): *V3*—500, *V4*—100, *V6* и *V8* — 180, *V9* — 40, *V12*, *V13*, *V14* и *V15* — 100.

Транзисторы КТ3102Е можно заменить на КТ342В с коэффициентом $h_{21э}$ не менее 400, транзисторы КТ3107В — на КТ361 с коэффициентом $h_{21э}$ не менее 80, КТ342А — на КТ315 с любым буквенным индексом. Вместо КТ805БМ можно использовать транзисторы

серий П702, КТ802, КТ803, КТ808, КТ809, КТ812 с коэффициентом $h_{21э}$ не менее 35. Полевой транзистор КП302БМ можно заменить на КП303.

Используемые полевые транзисторы подбирают по начальному току стока ($I_{с.нач.}$). Для этого транзистор подключают к измерительной цепи, схема которого показана на рис. 3. Сначала перемещением движков переменных резисторов *R1* и *R2* добиваются, чтобы через стрелочный прибор *PA1* протекал определенный ток стока. Затем омметром измеряют общее сопротивление резисторов в истоковой цепи транзистора и подбирают постоянный резистор такого же номинала. Транзистор вместе с подобранным резистором устанавливают на монтажной плате. Ток стока транзистора *V5* должен быть 6—8 мА, транзисторов *V7* и *V10*—3—4 мА. На истоке транзистора *V1* подбором резистора *R3* (см. рис. 1) устанавливают напряжение 6—7 В.

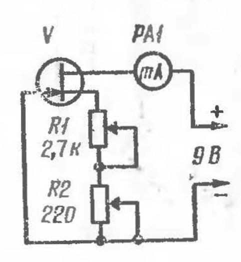
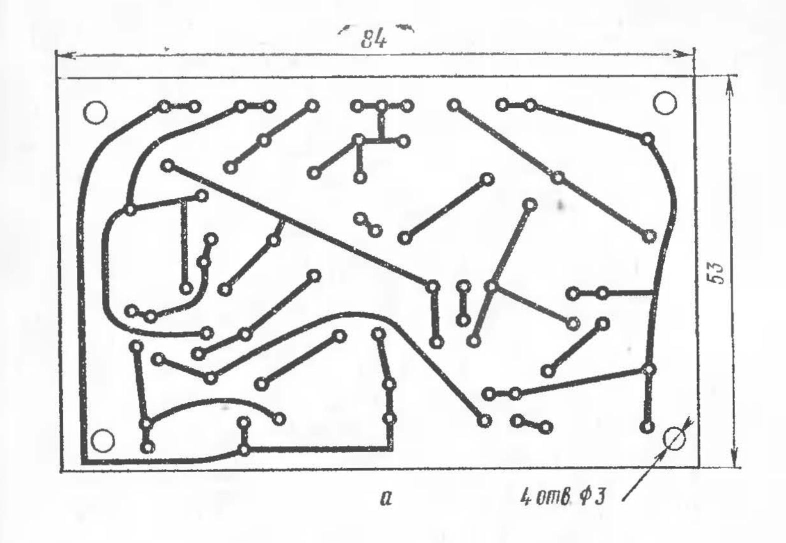


Рис. 3. Схема подбора полевых транзисторов

Детали усилителей мощности каналов стереоусилителя, кроме выходных транзисторов, устанавливаемых на радиаторах площадью 300 см², монтируют на отдельных печатных платах размерами 84 × 53 мм (рис. 4), а детали блоков регулировки каналов — на общей плате размерами 157 × 58 мм (рис. 5).

В блоке питания, представляющем собой самостоятельную конструкцию, использован трансформатор питания *(Т1)* от магнитофона «Чайка-66». Его первичная обмотка оставлена без изменений, обмотка *II* содержит 210 витков (с отводом от середины) провода ПЭВ-2 1,2, обмотка *III* — 78 витков провода ПЭВ-2 0,33.

Если детали предварительно проверены и нет ошибок в монтаже, то все н а л а ж и в а н и е усилителя сводится к установке токов покоя усилителей мощности (в цепях предохранителей) в пределах 30—40 мА. Делают это подстроечным резистором *R22*.



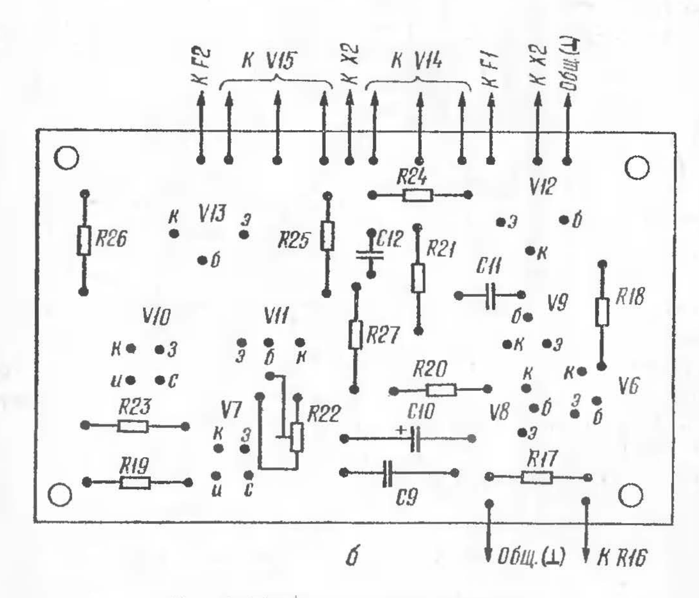
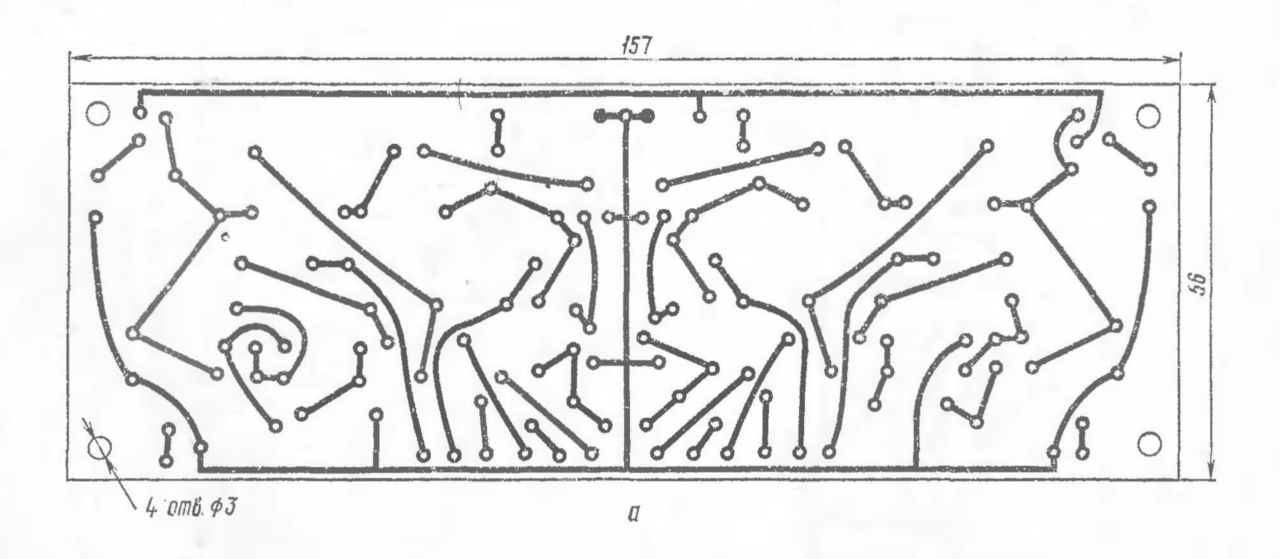


Рис. 4. Плата усилителя мощности:
а — печатный монтаж; *б* — расположение элементов



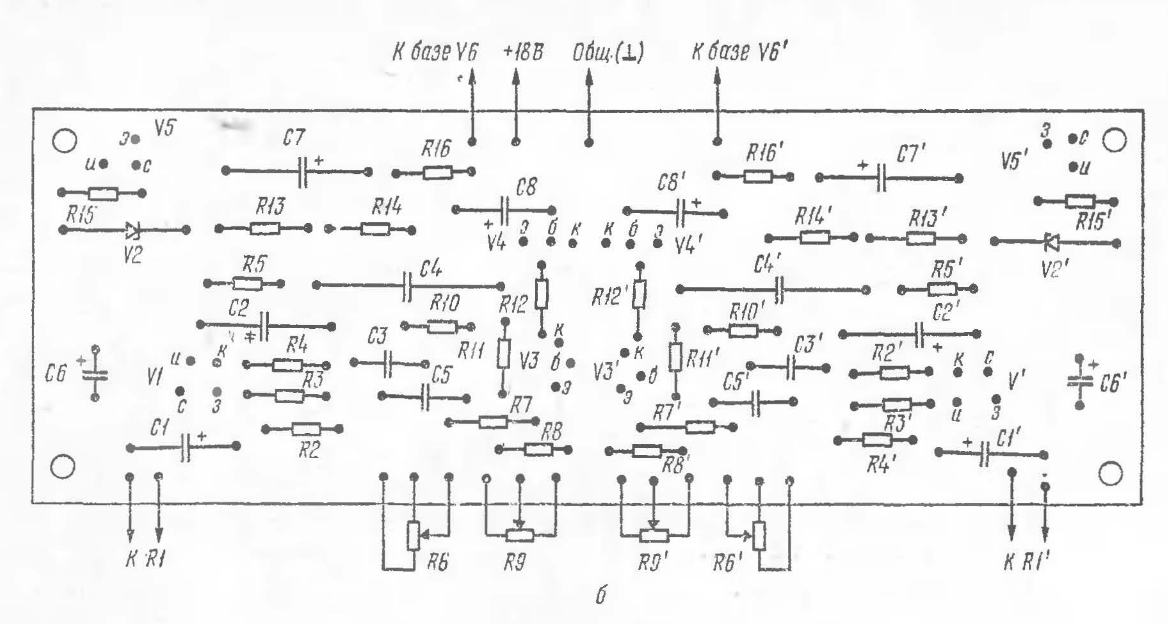


Рис. 5. Плата регулировки каналов усилителя:
а — печатный монтаж; *б* — расположение элементов

ЛАМПОВО-ТРАНЗИСТОРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ СТЕРЕОТЕЛЕФОНОВ

С. Филин

Вопрос о применении, преимуществах и недостатках электронных ламп, транзисторов и интегральных микросхем можно считать окончательно решенным в пользу транзисторов и ИМС. Однако электронные лампы еще находят достаточно широкое применение в радиолюбительских конструкциях, особенно в усилителях НЧ.

Как показывает опыт, для прослушивания стереофонических музыкальных программ на стереотелефоны целесообразно использовать отдельный высококачественный маломощный усилитель НЧ. Реализация высоких качественных показателей стереофонических усилителей НЧ является задачей весьма трудной, а наиболее важных из них — широкой полосы рабочих частот, малого уровня собственных шумов на выходе, малых нелинейных искажений при максимальной выходной мощности и большого переходного затухания между стереоканалами — весьма противоречивой. Так, например, повышение выходной мощности усилителя НЧ приводит к увеличению нелинейных искажений, а чем шире полоса пропускания усилителя, тем больше уровень шумов на его выходе.

Достигнуть малого уровня собственных шумов при широкой полосе рабочих частот усилителя НЧ можно, если входные каскады обоих каналов усилителя выполнить на электронных лампах, питающихся пониженным анодным напряжением. При этом коэффициент нелинейных искажений во всем диапазоне рабочих частот получается минимальным и, как правило, не превышает 0,2%. Применение электронной лампы на входе обеспечивает к тому же высокое входное сопротивление усилителя, что позволяет подключить к нему непосредственно пьезокерамический звукосниматель (например, II-ЭПУ-32С, II-ЭПУ-52С, II-ЭПУ-62СП и др.).

Лампово-транзисторный усилитель НЧ для стереотелефонов, принципиальная схема которого приведена на рис. 1, предназначен для прослушивания различных музыкальных и речевых программ при совместной работе с магнитофонной приставкой (магнитофоном), радио-

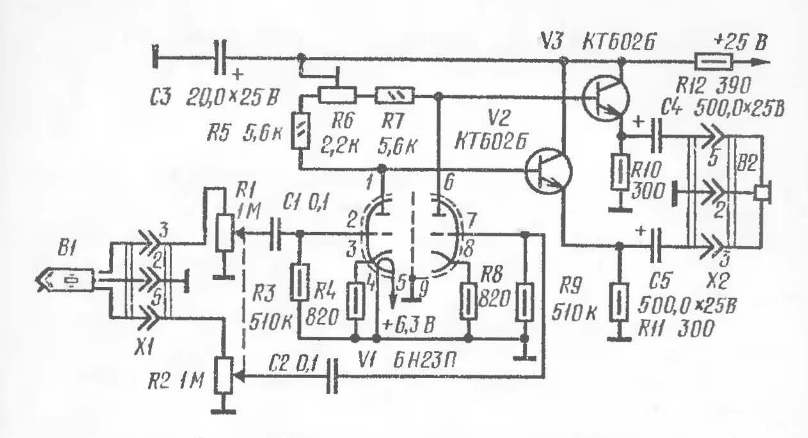


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя

приемником или стереофоническим ЭПУ. Номинальная выходная мощность каждого канала усилителя 0,025 Вт, чувствительность около 400 мВ, полоса рабочих частот 20—60 000 Гц при неравномерности частотной характеристики не более ±1,5 дБ, коэффициент нелинейных искажений менее 0,2%. Уровень собственных шумов при открытом входе не более —75 дБ.

Усилитель выполнен в виде двух идентичных двухкаскадных каналов усиления. Входные каскады, выполненные на триодах лампы *V1*, обеспечивают усиление сигнала примерно в четыре раза. Анодной нагрузкой левого каскада служит резистор *R5*, правого — резистор *R7*. Подстроечным резистором *R6* выравнивают коэффициенты усиления каскадов. В катодные цепи лампы включены резисторы *R4* и *R8*, обеспечивающие отрицательную обратную связь и малые нелинейные искажения усилителя в целом. Нить накала лампы питается постоянным током напряжением 6,3 В.

Второй транзисторный каскад каждого канала усилителя представляет собой эмиттерный повторитель. Гальваническая связь между каскадами обеспечивает высокую стабильность фазовых характеристик усилителя. Конденсаторы *C4* и *C5* — разделительные между усилителем и стереофоническими телефонами *B2*.

Уровень громкости в каналах усилителя регулируют переменными резисторами *R1* и *R2*. Питание усилителя

(кроме цепи накала лампы *V1*) осуществляется от источника постоянного тока напряжением 25 В. Потребляемый ток не превышает 70 мА. Резистор *R12* и конденсатор *C3* образуют развязывающий фильтр в цепи питания.

Если усилитель предполагается выполнить в виде автономной конструкции, блок питания его можно собрать по схеме, приведенной на рис. 2. В этом случае резистор *R12* и конденсатор *C3* следует исключить из усилителя.

Усилитель смонтирован на печатной плате размерами 80 × 50 мм из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Размещение деталей на плате показано на рис. 3.

Транзисторы желательно установить на радиаторы площадью 30—50 см². Лампу 6Н23П можно заменить на 6Н16Б, укрепив ее на плате алюминиевой скобой или лампой 6Н3П, поместив ее в экран. Экран лампы необходимо соединить с общим проводом. Вместо транзисторов КТ602Б можно использовать транзисторы КТ604Б, КТ801А, КТ801Б, КТ807 или КТ815 с любым буквенным индексом. Конденсаторы *C1* и *C2* типа МБМ или БМ, *C4* и *C5* — К50-6, *C3* — К53-1 или К50-6. Подстроечный резистор *R6* типа СП5-1А (можно СП3-1А, Б, СП-0,5 и др.). Переменные резисторы *R1*, *R2* типа СП3-23б или СП3-12в, СП-1 группы В. Постоянные резисторы МЛТ-0,25. Разъемы *X1* и *X2* типа СГ-5. Стереотелефоны *B2* типа ТДС-3 или другие, например ТДС-1, «ЭХО» с сопротивлением постоянному току 8—16 Ом.

В блоке питания диоды Д237А *(V1—V8)* можно заменить на диоды серий Д7, Д226, Д229 с любыми буквенными индексами или диоды других серий, рассчитанные на максимальный выпрямленный ток не менее 100 мА. Конденсатор *C1* может быть типа БМ, БТ, МБМ на номинальное напряжение не менее 400 В. Электролитические конденсаторы типа К50-6, резисторы МЛТ-0,5. Транзистор П701А можно заменить на

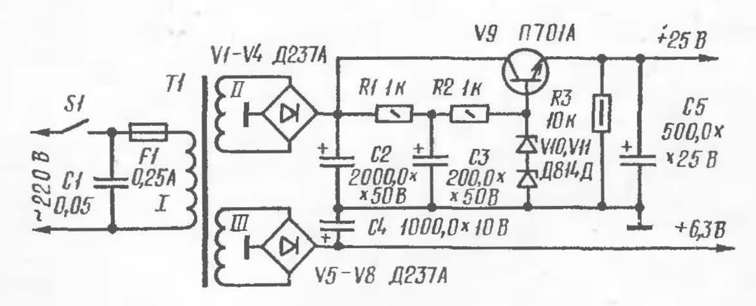
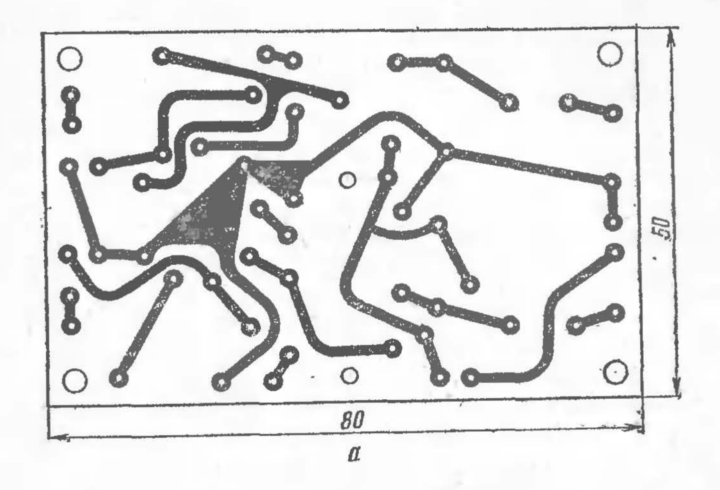


Рис. 2. Схема блока питания



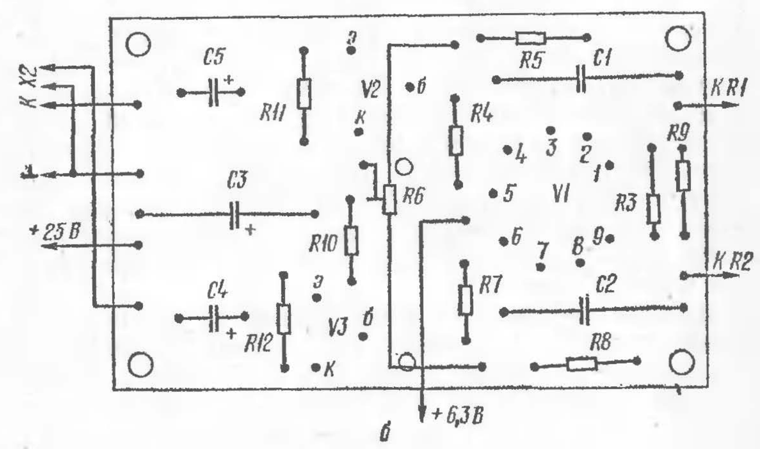


Рис. 3. Плата усилителя:
а — печатный монтаж; *б* — расположение элементов

КТ801А(Б), КТ807, установив его на радиаторе площадью около 50 см².

Данные трансформатора питания *T1*: магнитопровод УШ16 × 24, обмотка *I* содержит 2400 витков провода ПЭВ-2 0,13, обмотка *II* — 270 витков провода ПЭВ-2 0,44, обмотка *III* — 68 витков провода ПЭВ-2 0,59. Если от этого блока предполагается питать еще какое-либо устройство, например основной усилитель НЧ или радиоприемник, то данные трансформатора *T1* могут быть такими: магнитопровод УШ26 × 28, обмотка *I* — 1040 витков провода ПЭВ-2 0,23, обмотка *II* — 145 витков провода ПЭВ-2 0,8, обмотка *III* — 30 витков провода ПЭВ-2 1,0. Конструкция блока питания произвольная.

Налаживание усилителя, собранного из заведомо исправных деталей, несложно. Включив питание и прогрев лампу в течение трех-четырех минут, на вход усилителя подают от звукового генератора сигнал частотой 1000 Гц и амплитудой около 0,1 В. Подстроечным резистором *R6* добиваются равенства амплитуд усиливаемого сигнала на базах транзисторов. Контроль амплитуды напряжения осуществляют с помощью вольтметра с относительным входным сопротивлением не менее 20 кОм/В или осциллографа. Если выходная мощность усилителя окажется недостаточной, то уменьшают сопротивления резисторов *R10* и *R11*. Однако заменять их резисторами сопротивлением менее 100 Ом нецелесообразно, так как при этом резко возрастает ток, протекающий через транзисторы.

Далее проверяют основные параметры усилителя по одной из методик, неоднократно публиковавшихся на страницах журнала «Радио». При отсутствии у радиолюбителя необходимых измерительных приборов качественные показатели усилителя можно оценить на слух, подавая на его вход сигнал от стереофонического электропроигрывающего устройства или магнитофона.

РАДИОЛЮБИТЕЛЮ-КОНСТРУКТОРУ

ГЕНЕРАТОРЫ ИМПУЛЬСОВ НА ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМАХ (ОБЗОР)

С. Минделевич

В предлагаемой статье приводятся описания генераторов импульсов с самыми разными параметрами на цифровых микросхемах транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ), наиболее распространенными из которых являются микросхемы серий К133 и К155.

Построение симметричных автоколебательных мультивибраторов на микросхемах аналогично устройству подобных приборов на дискретных элементах, с той лишь разницей, что усилительный каскад на транзисторе заменяется логическим элементом «И-НЕ». Схема одного из простейших мультивибраторов с перекрестной емкостной связью показана на рис. 1, *а*. Работа его аналогична работе мультивибратора на транзисторах. Она пояснена диаграммами напряжений, приведенными на рис. 1, *б**.

Рассмотрим работу устройства с момента, когда элемент *D1.1* примет состояние с высоким логическим уровнем на выходе (*«Выход 1»*). В это время на его входе (точка *а*) напряжение, подбираемое резисторами, будет ниже порога переключения $U_п$ (для микросхем серии К155 напряжение $U_п$ равно примерно 1,15 В), а на выходе элемента *D1.2* (*«Выход 2»*) — низкий логический уровень.

По мере того как конденсатор *C1* заряжается выходным током элемента *D1.1*, протекающим через резистор *R2* (диод *V2* в это время закрыт), напряжение в точке *в* несколько повышается, а в точке *б* уменьшается. Как только напряжение на входе элемента *D1.2* (точка *б*) станет равным напряжению $U_п$, этот элемент изменит свое состояние и на его выходе (точка *г*) станет логическая 1.

Положительный скачок напряжения (с логического 0 на логическую 1) через конденсатор *C2* поступит на вход

* На всех диаграммах в статье напряжение низкого логического уровня показано равным нулю.

элемента *D1.1* и переключит его в состояние с низким логическим уровнем на выходе. Конденсатор *C2* начнет заряжаться выходным током элемента *D1.2* (через резистор *R1*). Конденсатор же *C1* выходным током элемента *D1.1* через диод *V2* будет разряжаться. Как только напряжение на входе элемента *D1.1* уменьшится до порога переключения, устройство примет исходное состояние, и цикл повторится.

Длительность импульсов на каждом из выходов устройства определяется временем зарядки подключен-

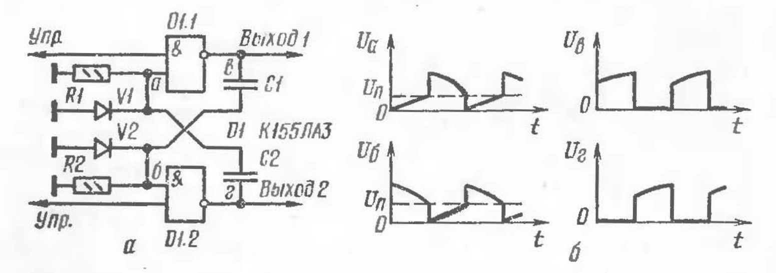


Рис. 1. Схема простого мультивибратора с перекрестной обратной связью (*а*) и диаграммы его напряжений (*б*) для случая, когда $R1 = R2$ и $C1 = C2$

ного к нему конденсатора. Для устойчивой работы мультивибратора необходимо, чтобы разрядка конденсаторов проходила быстрее их зарядки. Это достигается включением диодов *V1*, *V2*. При сопротивлении резисторов, равном 1,8 кОм, и изменении емкости конденсаторов ($C1 = C2$) от 100 пФ до 0,1 мкФ частота колебаний мультивибратора изменяется от 2 МГц до 300 Гц. Подбирая резисторы, надо иметь в виду, что при отсутствии колебаний они должны обеспечить уровень логической 1 на выходе элементов *D1.1* и *D1.2* (при напряжении на входах логического элемента, равном нулю, входной ток составляет примерно 1 мА). Однако если сопротивление резисторов небольшое, то происходит значительный перекос вершины генерируемых импульсов. Исходя из этого, в мультивибраторе на ТТЛ элементах используют резисторы сопротивлением от 100 Ом до 1,8 кОм (хотя в большинстве случаев генератор устойчиво работает и при сопротивлениях до 4 кОм).

При равенстве емкостей конденсаторов скважность выходных импульсов равна 2. Подбором соотношения *C1/C2* при сопротивлении резисторов *R1* и *R2* по 1,8 кОм можно получить устойчивую генерацию при скважности до 10 (при сопротивлении резисторов по 4 кОм — до 20).

Входы *«Упр.»* служат для управления работой мультивибратора: генерация не возникает при напряжении на них меньше порога переключения $U_п$ (от 0 до 1,15 В). Если управлять работой генератора не нужно, то входы *«Упр.»* желательно соединить через резистор сопротивлением 1 кОм с плюсовым выводом источника питания (или их подключить параллельно используемому входу логического элемента, но в этом случае несколько возрастает входной ток).

Рис. 2. Схема симметричного мультивибратора, в котором частоту выходных импульсов регулируют управляющим напряжением $U_{упр}$

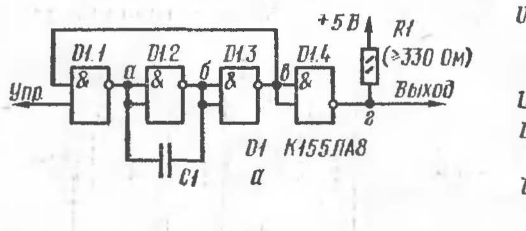
Из-за ограниченного выходного тока логического элемента в момент зарядки конденсаторов, подключенных к выходам генератора, напряжение на них возрастает экспоненциально (ток зарядки уменьшается по такому же закону), т. е. вершины выходных импульсов оказываются перекошенными.

Для улучшения формы импульсов и устранения влияния нагрузки мультивибратора к каждому выходу следует подключить дополнительный инвертор.

В подобном устройстве при включении питания оба логических элемента могут оказаться в закрытом состоянии (на выходах — логическая 1), и колебания не возникнут. Чтобы этого не произошло, вводят дополнительный элемент «2И-НЕ» (см. Радио, 1977, № 1, с. 44).

Частоту мультивибратора, собранного на цифровых микросхемах, можно регулировать не только изменением емкости и сопротивления времязадающих конденсаторов и резисторов, но и чисто электрическим путем, подавая разное напряжение на вход логических элементов. В таком генераторе (рис. 2) чем больше (по абсолютной величине) управляющее напряжение, тем быстрее при зарядке конденсаторов напряжение на входе логического

элемента с логическим 0 на выходе уменьшается до порога переключения $U_п$ и, следовательно, тем больше частота генерации. При изменении управляющего напряжения от 0 до —5 В частота изменяется по закону, близкому к линейному. При использовании конденсаторов *C1* и *C2* емкостью по 1000 пФ диапазон регулировки



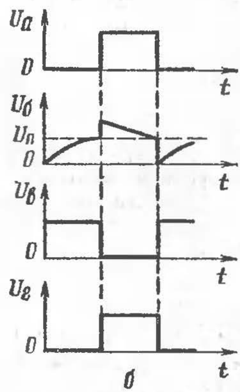


Рис. 3. Схема *(а)* и диаграммы напряжений *(б)* простого генератора с одним времязадающим конденсатором

частоты составляет 120—750 кГц, а при емкости по 0,1 мкФ — от 1 до 8 кГц.

Широкое распространение на практике получил простой генератор (рис. 3, *а*), частота выходных импульсов которого определяется процессами перезарядки лишь одного конденсатора. Принцип его работы пояснен эпюрами напряжений (рис. 3, *б*). Генератор вырабатывает импульсы в широком диапазоне частот — от единиц герц до нескольких мегагерц. Зависимость частоты *f* (в кГц) от емкости конденсатора *C1* (в пФ) выражается приближенной формулой $f = \frac{3 \cdot 10^6}{C_1}$. При уменьшении напряжения питания частота генерируемых импульсов уменьшается (примерно на 20 % на каждые 0,5 В), а при увеличении температуры окружающей среды — увеличивается (примерно вдвое при увеличении температуры на 100° С) *.

* Эти зависимости характерны для всех упомянутых в статье генераторов, не содержащих транзисторы и кварцевые резонаторы.

В генераторе, собранном по схеме рис. 3, *а*, логические элементы имеют «открытый» коллектор. Скважность импульсного выходного напряжения практически равна двум.

В генераторе по схеме рис. 4 длительность импульсов можно регулировать резистором *R2* (скважность изменяется от 1,5 до 3), а частоту — резистором *R1*. Например, при использовании конденсатора *C1* емкостью 0,1 мкФ при отсутствии резистора *R2* и изменении со-

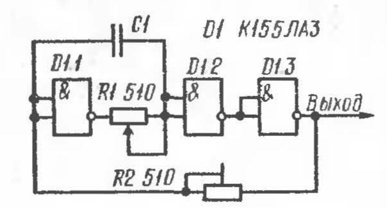


Рис. 4. Схема генератора с регулировкой частоты и скважности импульсов

противления резистора *R1* от максимального значения до нуля частота генерируемых импульсов изменяется от 8 до 125 кГц. Для получения другого диапазона частот необходимо изменять номинал конденсатора *C1*.

Логические микросхемы позволяют собрать генератор без каких-либо других радиодеталей (конденсаторов, резисторов и т. п.). Принцип работы такого генератора основан на задержке переключения логических элементов.

Принципиальная схема одного из таких генераторов приведена на рис. 5, *а*. При подаче на управляющий вход логического 0 на выходе элемента *D1.1* будет логическая 1 (на рис. 5, *б* время включения и выключения логических элементов принято одинаковым). При подаче на управляющий вход логической 1 все элементы поочередно изменяют свое состояние. Третий элемент *(D1.3)* переключится через промежуток времени, равный $nt_{зд}$, где *n* — число логических элементов, а $t_{зд}$ — среднее время задержки переключения одного элемента, равное полусумме времен задержки включения и выключения. Скачок напряжения с выхода генератора через цепь обратной связи поступает на вход элемента *D1.1* и переключает его в первоначальное состояние. Вслед за ним возвращаются в исходное состояние и другие элементы.

Дальше процесс многократно повторяется. Таким образом, устройство будет генерировать высокочастотные импульсы с периодом, равным $2nt_{зд}$. Число элементов в генераторе должно быть нечетным (больше единицы).

Для микросхем серии К155 среднее время задержки составляет около 20 нс. Следовательно, генератор, собранный по схеме рис. 5 *а*, будет вырабатывать импульсы с частотой следования около 8 МГц. Если генератор сразу не заработает, необходимо несколько уменьшить напряжение питания. Для уменьшения частоты следует увеличить число логических элементов.

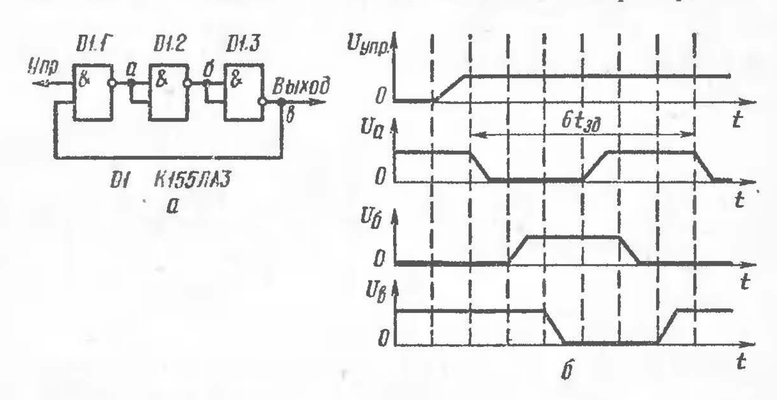


Рис. 5. Схема (*а*) и диаграмма напряжений (*б*) генератора, работа которого основана на задержках логических элементов

В рассмотренных здесь примерах входы *«Упр.»* служат для управления работой генератора. Однако при окончании управляющего импульса в момент генерирования выходного длительность последнего генерируемого импульса может быть меньше остальных, что в ряде случаев нежелательно. Ниже приводятся схемы генераторов, в которых этот недостаток устранен.

Мультивибратор, схема которого изображена на рис. 6, *а*, в зависимости от периода входного сигнала работает или в ждущем или в автоколебательном синхронизируемом режиме. Запуск мультивибратора осуществляется низким логическим уровнем или замыканием, например кнопкой, управляющей цепи с общим проводом.

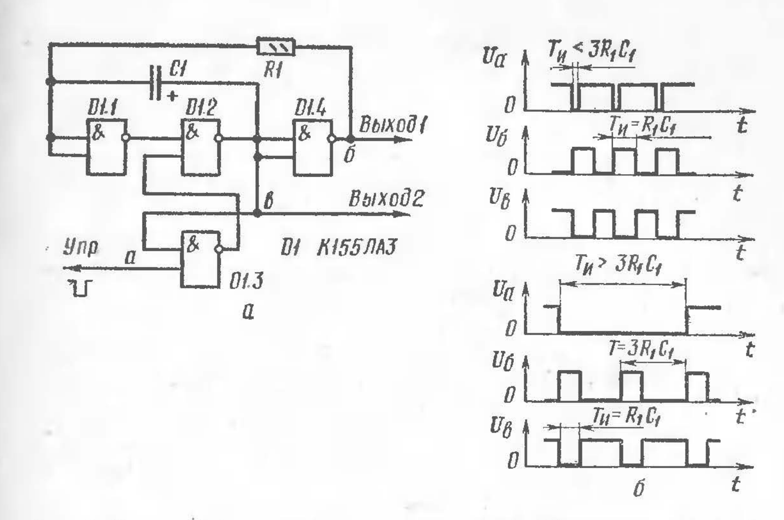


Рис. 6. Схема (*а*) и диаграмма напряжений (*б*) генератора, работающего в зависимости от длительности управляющих импульсов или в ждущем (верхние диаграммы), или в автоколебательном синхронизируемом (нижние диаграммы) режимах

Элементы *D1.2* и *D1.3* образуют *RS*-триггер, служащий электронным ключом — при отсутствии входного сигнала (что соответствует подаче на вход *«Упр.»* логической 1), он блокирует работу устройства. Если на управляющий вход подать логический 0, то триггер изменяет свое состояние. Элемент *D1.2* при этом начинает работать как инвертор, образующий с элементами *D1.1* и *D1.4* импульсный генератор с автоматическим запуском. Если длительность отрицательного управляющего импульса $T_и$ больше, чем постоянная времени цепи $R1C1 \cdot 3$, то генерируются, по крайней мере, два выходных импульса с периодом, примерно равным $3R_1C_1$. Причем начало первого из них совпадает с фронтом отрицательного входного импульса, а последний импульс независимо от момента окончания разрешающего сигнала имеет такую же длительность, что и предыдущие (равную $R_1 \cdot C_1$).

При длительности управляюшего импульса $T_и$ меньшей, чем $3 \cdot R_1C_1$, устройство генерирует импульс (длительность которого равна R_1C_1) на каждый отрицательный управляющий импульс.

Сопротивление резистора *R1* может быть в пределах 330 Ом — 1,5 кОм, а емкость конденсатора *C1* должна быть не меньше 50 пФ. Например, при сопротивлении резистора *R* = 1 кОм и емкости конденсатора *C1* = 100 мкФ генерируется импульс длительностью 100 мс или последовательность этих импульсов (в зависимости от периода входного сигнала).

Генератор по схеме, приведенной на рис. 7, формирующий на выходе целое число периодов импульсов, так-

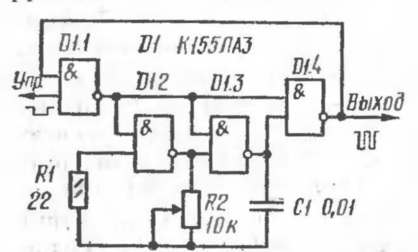


Рис. 7. Схема генератора, в котором длительность последнего генерируемого импульса не зависит от момента окончания управляющего сигнала

же запускается фронтом отрицательного управляющего импульса. Элементы *D1.2* и *D1.3* образуют *RC*-генератор прямоугольных импульсов, частоту следования которых от 4 до 25 кГц можно регулировать переменным резистором *R2*. При поступлении логического 0 на вход элемента *D1.1* с его выхода на все остальные элементы подается разрешающий сигнал — логическая 1. Поэтому перепад напряжения на выходе устройства формируется одновременно (не считая времени задержек переключения элементов) с фронтом отрицательного импульса на управляющем входе элемента *D1.1*. Даже если этот сигнал прекращается (т. е. на вход *«Упр.»* подается логическая 1) при низком логическом уровне на выходе генератора, то, благодаря цепи обратной связи, на выходе элемента *D1.1* сохраняется логическая 1, и устройство генерирует последний импульс полной длительности. Поэтому период всегда будет равен предыдущему.

Обычно во времязадающие цепи мультивибраторов включают конденсаторы большой емкости и резисторы малых сопротивлений, что ограничивает диапазон плавной регулировки частоты следования импульсов. В генераторе, схема которого изображена на рис. 8, *а*, подобный недостаток устранен включением на вход микросхемы транзисторного ключа с малыми входным током и

порогом переключения. Частота такого мультивибратора может изменяться в 200 раз. Генерация происходит при подаче на вход *«Упр.»* логической 1.

Рассмотрим процесс генерации, начиная с момента начала зарядки конденсатора *C1* (см. рис. 8, *б*). В этот момент транзистор *V1* открыт и напряжение на его коллекторе близко к нулю. На другом входе элемента *D1.1* — логическая 1, на выходе элемента *D1.2* — логический 0. Конденсатор *C1* заряжается выходным током элемента *D1.1* через резистор *R1* и параллельно соединенные входное сопротивление транзистора *V1* и резисторы *R2*, *R3*. По мере зарядки конденсатора *C1* напряжение на нем экспоненциально возрастает, а ток через него уменьшается по такому же закону. Коллекторный ток транзистора *V1* при этом также уменьшается, и когда он станет равным входному току переключения элемента *D1.1*, на выходе этого элемента будет логический 0, который переключит элемент *D1.2*. Отрицательный перепад напряжения в точке *а*, закрывающий в этот момент транзистор, образуется за счет прохождения фронта импульса с выхода элемента *D1.1* через конденсатор *C1*.

Дальше происходит разряд конденсатора через резисторы *R1* — *R3* выходным током логических элементов. Когда напряжение в точке *а* станет достаточным для от-

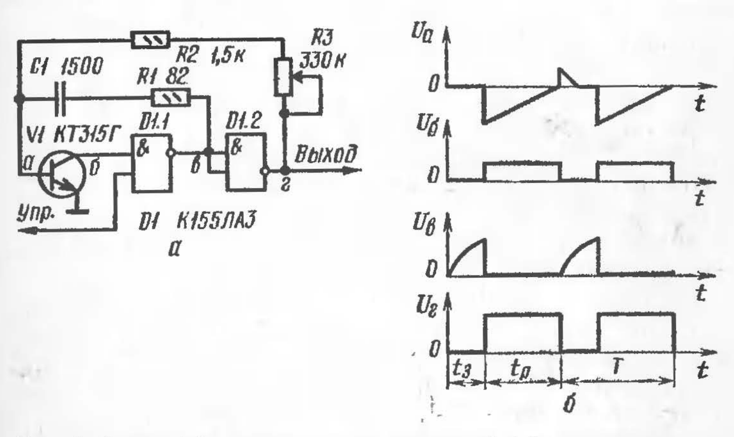


Рис. 8. Схема (*а*) и диаграммы напряжений (*б*) генератора, частоту которого переменным резистором можно изменять в 200 раз

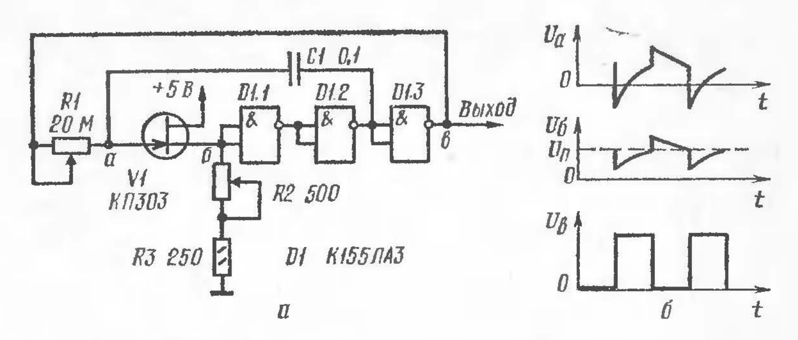


Рис. 9. Схема (*а*) и диаграммы напряжений (*б*) генератора с полевым транзистором

крывания транзистора, то он откроется. При этом изменится состояние элемента *D1.1*, начнется зарядка конденсатора *C1*, и цикл повторится.

Время зарядки и время разрядки конденсатора, определяющие период и длительность выходных импульсов, при статическом коэффициенте передачи тока транзистора около 100 определяют по приближенным формулам $t_з \approx 3{,}5 \cdot 10^{-3} C_1$, $t_р \approx 6 \cdot 10^{-7}(R_2 + R_3) C_1$ (емкость выражена в пикофарадах, сопротивление в омах, время в микросекундах).

При использовании элементов, указанных на принципиальной схеме, и суммарного сопротивления резисторов *R2* и *R3* 20 кОм время зарядки составляет около 5,7 мкс, а время разрядки — около 18 мкс. Резистор *R1* позволяет улучшить форму фронта импульсов. (В принципе, этого резистора может и не быть.)

Мультивибратор способен генерировать импульсы как с малой (меньше 2), так и с большой (больше 100) скважностью. При изменении емкости конденсатора *C1* от 20 пФ до 10 мкФ частота выходных колебаний изменяется от 3 МГц до долей герца.

Частоту генератора, собранного по схеме, приведенной на рис. 9, *а*, можно изменять в 50 тысяч раз. Это достигнуто применением полевого транзистора. При относительно небольших емкостях конденсатора возможно получение ультранизких частот. Например, при максимальных значениях, указанных на схеме элементов, частота выходных импульсов генератора равна 0,5 Гц.

Принцип работы устройства иллюстрирует рис. 9, *б*. В моменты времени, когда элемент *D1.3* переходит в состояние с логической 1 на выходе, отрицательный перепад напряжения с выхода элемента *D1.2* проходит через конденсатор *C1* и в точке *а* образуется отрицательное напряжение. Затем конденсатор начинает перезаряжаться через резистор *R1* выходным током элементов *D1.2* и *D1.3* (входным током полевого транзистора мож-

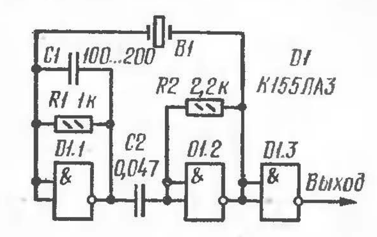


Рис. 10. Схема генератора с кварцевой стабилизацией частоты

но пренебречь). Изменение напряжения на затворе приводит к соответствующему изменению напряжения в точке *б*. И когда это напряжение достигает порога переключения элемента *D1.1*, он изменяет свое состояние и тем самым переключает остальные логические элементы генератора.

В периоды времени, когда на выходе устройства логический 0, конденсатор *C1* разряжается до момента, когда напряжение в точке *б* уменьшится до порога переключения элемента *D1.1*, что вызывает последовательное переключение логических элементов (возврат их в исходное состояние).

Длительность выходных импульсов регулируют резистором *R2*. Резистор *R3* служит для ограничения тока через транзистор. Частоту следования выходных импульсов можно определить по формуле $f = \frac{1}{2R_1C_1}$. В частности, если емкость конденсатора $C1 = 0{,}01$ мкФ и сопротивление резистора $R1 = 1$ МОм, частота импульсов равна 50 Гц; при емкости 150 пФ и сопротивлении 120 кОм — 22,5 кГц. Верхняя граница частоты генератора около 10 МГц. Для плавной регулировки частоты целесообразно, чтобы переменный резистор *R1* был многооборотным.

Как уже указывалось выше, частота колебаний генераторов на микросхемах при изменении напряжения

питания и температуры окружающей среды изменяется довольно значительно. Если необходима высокая стабильность частоты, в генераторы вводят кварцевые резонаторы. Примером может служить генератор, собранный по схеме рис. 10. Он генерирует импульсы в диапазоне частот 0,1—2 МГц (в зависимости от используемого резонатора *B1*). При соответствующем кварце возможна генерация импульсов частотой от 1 до 10 МГц. В этом случае конденсатор *C1* надо исключить, емкость конденсатора *C2* должна быть 0,01 мкФ, а сопротивления резисторов по 470 Ом. Скважность генерируемых импульсов около 2.

В таком устройстве резисторы *R1* и *R2* обеспечивают устойчивый режим генерации, а элемент *D1.3* выполняет функцию буферного каскада. Конденсатор *C2* осуществляет развязку по постоянному току. Конденсатор *C1* предотвращает высокочастотные колебания на фронтах и спадах импульсов, обусловленные высшими гармониками.

ЭЛЕКТРОННАЯ АВТОМАТИКА

КРАСНЫЙ, ЗЕЛЕНЫЙ ИЛИ СИНИЙ?

А. Евсеев

Цветовосприятие играет большую роль в жизни людей. Каждый день мы сталкиваемся с множеством различных цветов и их сочетаний, что оказывает определенное воздействие на наши поступки. Например, шофер, увидев красный сигнал светофора, начинает тормозить, а при зеленом сигнале трогается с места либо продолжает движение. Во многих случаях человек должен предпринимать определенные действия, характер которых зависит от увиденного только что цвета. Причем здесь важны как правильность принятия решения в ответ на нужный цвет, так и быстрота реакции.

Описываемый прибор предназначен для тренировки способности человека быстро и правильно реагировать на различные цвета и отработки координации движений пальцев рук.

На передней панели прибора находятся лампы красного, зеленого, синего цвета и световые табло с надписями *«Замедленная реакция»*, *«Цветовосприятие и реакция хорошие»*, *«Цветовосприятие плохое»*, а в руках у испытуемого — пульт с кнопками таких же цветов.

При включении прибора в сеть горят все три лампы. Затем две лампы гаснут, а одна продолжает гореть. Испытуемый должен быстро нажать на пульте ту кнопку, цвет которой соответствует цвету горящей лампы. Если он это сделает за определенное время (скажем, не более чем за 1 с), то на табло высветится надпись *«Цветовосприятие и реакция хорошие»*. Если же испытуемый перепутает кнопку или не уложится в отведенное ему время — загорится одна из двух других надписей или обе вместе.

Рассмотрим работу тренажера по его функциональной схеме, приведенной на рис. 1. Управляет автоматом мультивибратор, импульсы которого периодически включают и выключают генератор случайного цвета, запускают реле времени, периодически возвращают логическое устройство в исходное состояние. Генератор случайного цвета подает сигнал на табло с лампами красного, зеленого и синего цветов, на логическое устройство и узел совпадения. В зависимости от совпадения или несовпадения цвета загоревшейся лампы и нажатой на пульте кнопки узел совпадения подает на логическое устройство высокий или низкий логический уровень.

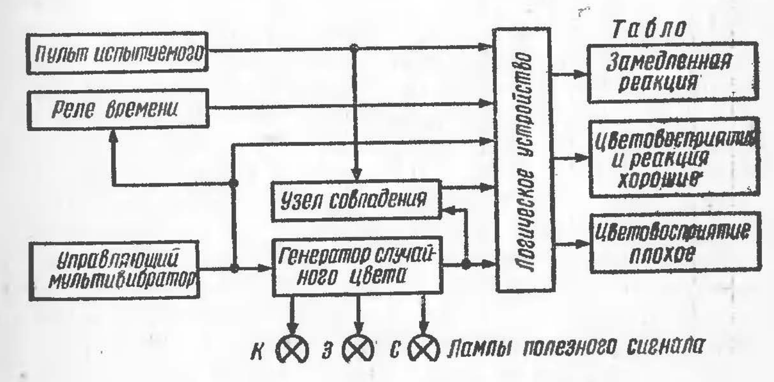


Рис. 1. Функциональная схема автомата

Логическое устройство анализирует поданную на его входы информацию и в соответствии с ней управляет зажиганием надписей на табло, характеризуя реакцию испытуемого.

Принципиальная схема автомата приведена на рис. 2. На логических элементах *D1.1*, *D1.2* микросхемы *D1* собран генератор импульсов, частота следования которых составляет несколько десятков килогерц. Эти импульсы подаются на счетчик с коэффициентом пересчета 3, собранный на элементах *D5.1*, *D5.2*, *D1.3*. Входящие в микросхему *D5* *D*-триггеры работают в счетном режиме, так как их инверсные выходы соединены с *D*-входами. Коэффициент пересчета 3 получен благодаря использованию элемента *D1.3* «2И-НЕ». При появлении на выходах триггеров уровней логической 1 на выходе элемента *D1.3* установится логический 0, который установит в 0 триггер *D5.1*. При следующих импульсах триггеры будут последовательно устанавливаться в состояния 1 0, 0 1, 1 1 ⟶ 0 0 и т. д (стрелка означает переключение триггеров из состояния 1 1 в состояние 0 0). Конденсатор *C2* увеличивает длительность импульса сброса.

Допустим, что при включении питания (*S4*) реле *K1* не сработало. В этом случае на выводе *5* элемента *D1.2* будет высокий логический уровень, генератор станет вырабатывать импульсы, поступающие на счетчик, который вместе с транзисторами *V7* — *V9* и элементом *D1.4* образует генератор случайного цвета. В это время лампы *H1*, *H2* и *H3* светятся слабо, потому что на базы транзисторов *V7* — *V9* поступают не постоянные напряжения, а импульсные (два импульса из каждых трех, вырабатываемых генератором импульсов).

Одновременно нормально замкнутые контакты *K1.1* обесточенного электромагнитного реле *K1* установят в исходное состояние *RS*-триггеры, собранные на элементах *D2.2* и *D2.3*, *D3.1* и *D2.1*, *D4.2* и *D4.3*. При этом на верхних (по схеме) выходах триггеров установится уровень логического нуля. На выходах же элементов *D3.3* и *D3.4* будет логическая 1, так как на одном из входов каждого из этих элементов — логический 0. В это время транзисторы *V10* — *V12* окажутся закрытыми, а лампы *H4*, *H5*, *H6*, подсвечивающие надписи на табло, обесточенными. На выходах элементов *D6*, *D7* — логическая 1.

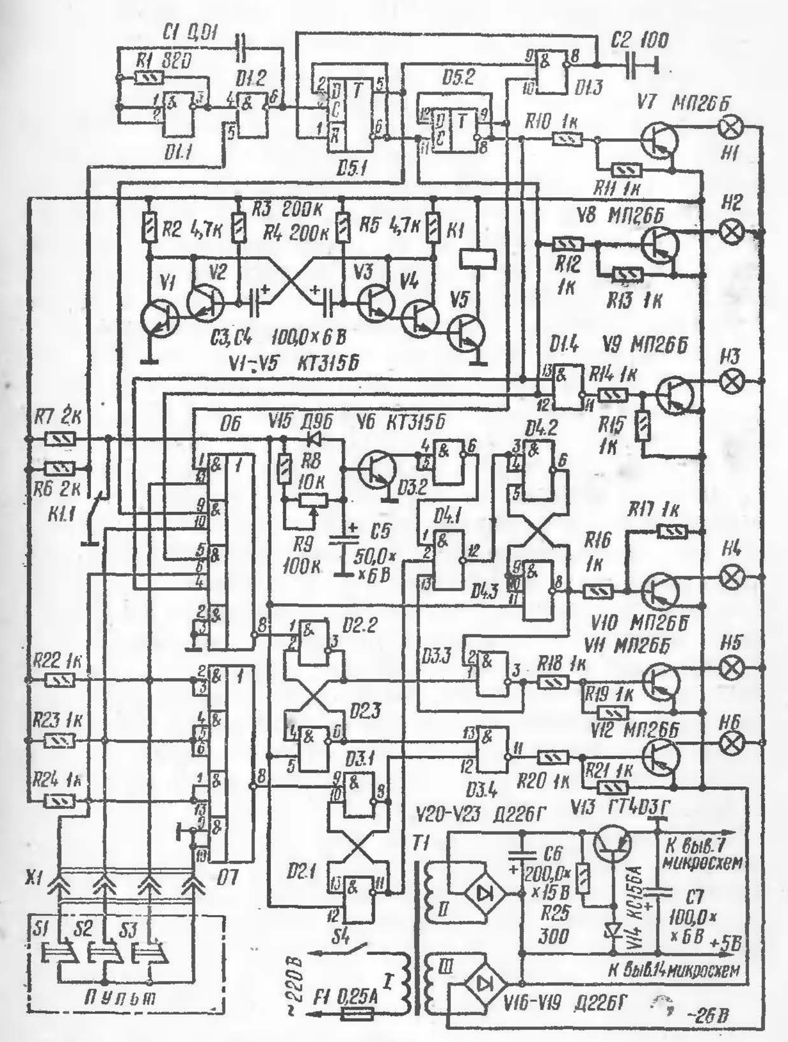


Рис. 2. Принципиальная схема автомата

Через некоторое время мультивибратор, собранный на транзисторах *V1 — V5*, изменит свое состояние на противоположное, и реле *K1* сработает. Генератор импульсов перестанет работать, и одна из ламп *H1 — H3* будет индицировать одно из трех устойчивых состояний счетчика импульсов (за время работы генератора импульсов счетчик многократно переполнялся, поэтому число, записанное в нем, совершенно случайно). Одновременно с остановкой генератора начнет заряжаться конденсатор *C5* через резисторы *R8* и *R9*. Время зарядки этого конденсатора до момента открывания транзистора *V6* зависит от положения движка переменного резистора *R9* и составляет 0,3—1 с. За это время испытуемый должен успеть нажать соответствующую кнопку.

Предположим, что после остановки генератора продолжает гореть лампа *H2* (красного цвета) и испытуемый нажал кнопку *S2* такого же цвета. При этом на выходе элемента *D6*, осуществляющего в данном случае логическую операцию «2И-3ИЛИ-НЕ», появится низкий логический уровень, и триггер на элементах *D2.2*, *D2.3* переключится в состояние, противоположное предыдущему. На выходе элемента *D7*, осуществляющего логическую операцию «3ИЛИ-НЕ», также появится низкий логический уровень, и триггер на элементах *D3.1*, *D2.1* тоже переключится в противоположное состояние. Если испытуемый уложился в заданное время, то на выходе элемента *D3.3* появится логический 0, загорится лампа *H5* *«Цветовосприятие и реакция хорошие»*. Лампа *H6* *«Цветовосприятие плохое»* не загорится, так как на входе элемента *D3.4* будут разные логические уровни, а на выходе его будет логическая 1. Не загорится и лампа *H4* *«Замедленная реакция»*, так как на вход логического элемента *D4.1* будет подан логический 0 с выхода элемента *D3.3*, что заблокирует цепь прохождения сигнала от реле времени. Таким образом, будет светиться только одна надпись, фиксирующая отличный результат.

Работу автомата в трех других случаях действий испытуемого иллюстрирует табл. 1. В ней (0) — появление сигнала только на время нажатия кнопки, буква Г — лампа горит, НГ — не горит.

Резисторы *R10*, *R12*, *R14*, *R16*, *R18*, *R20* ограничивают выходные токи логических элементов и токи базовых цепей транзисторов *V7 — V12*. Резисторы *R11*, *R13*, *R15*,

Таблица

Характер действий испытуемого	Сигналы на выходах логических элементов						Состояния ламп табло		
	D6	*D2.2*	*D3.1*	*D4.3*	*D3.3*	*D3.4*	*H4*	*H5*	*H6*
Нажата кнопка соответствующего цвета и в установленный срок	(0)	1	1	1	0	1	НГ	Г	НГ
Нажата кнопка соответствующего цвета позже установленного срока	(0)	1	1	0	1	1	Г	НГ	НГ
Нажата кнопка несоответствующего цвета в установленный срок	1	0	1	1	1	0	НГ	НГ	Г
Нажата кнопка несоответствующего цвета позже установленного срока	1	0	1	0	1	0	Г	НГ	Г

R17, *R19*, *R21* надежно удерживают эти транзисторы в закрытом состоянии при уровнях логической 1 на левых (по схеме) выводах резисторов *R10*, *R12*, *R14*, *R16*, *R18*, *R20*. Диод *V15* обеспечивает полную разрядку конденсатора *C5*.

Питание всех микросхем автомата осуществляется от выпрямителя на диодах *V20 — V23* со стабилизатором напряжения, собранном на транзисторе *V13* и стабилитроне *V14*. Транзисторы и лампы *H1 — H6* питаются от выпрямителя на диодах *V16 — V19*.

Детали автомата, кроме выключателя питания *S4*, кнопок *S1 — S3*, находящихся на пульте испытуемого, предохранителя *F1*, трансформатора питания *T1*, ламп накаливания *H1 — H6*, разъема *X1*, смонтированы на печатной плате размерами 155 × 95 мм (рис. 3) из двустороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Отверстия в плате желательно металлизировать. Если же такой возможности нет, следует обратить особое внимание на качественную пайку радиодета-

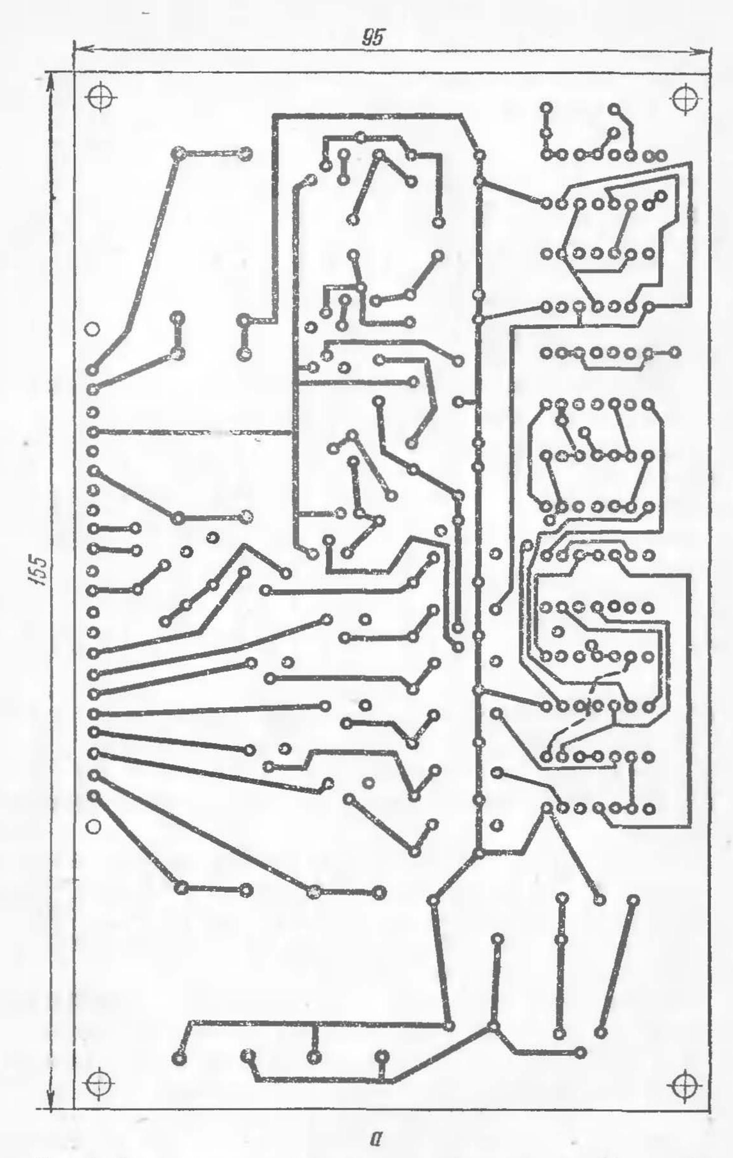


Рис. 3. Монтажная плата и схема размещения деталей на ней:

а — вид на печатные проводники со стороны, противоположной размещению деталей; б — вид на печатные проводники со стороны деталей; в — расположение деталей на плате

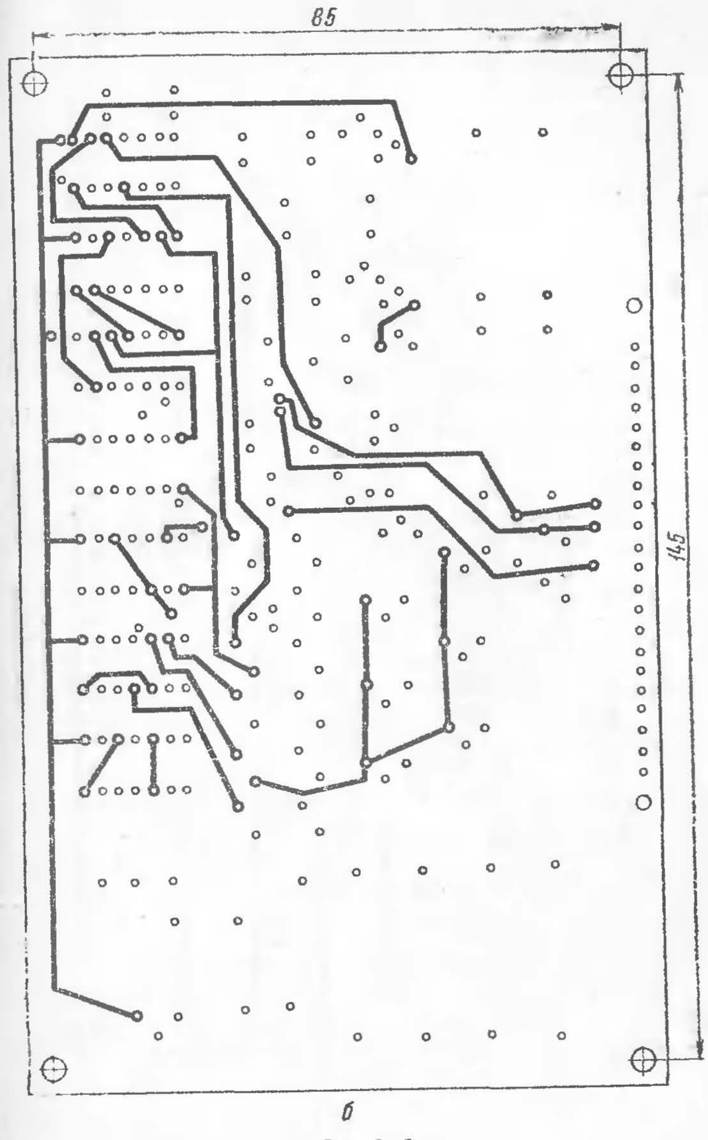


Рис. 3, б

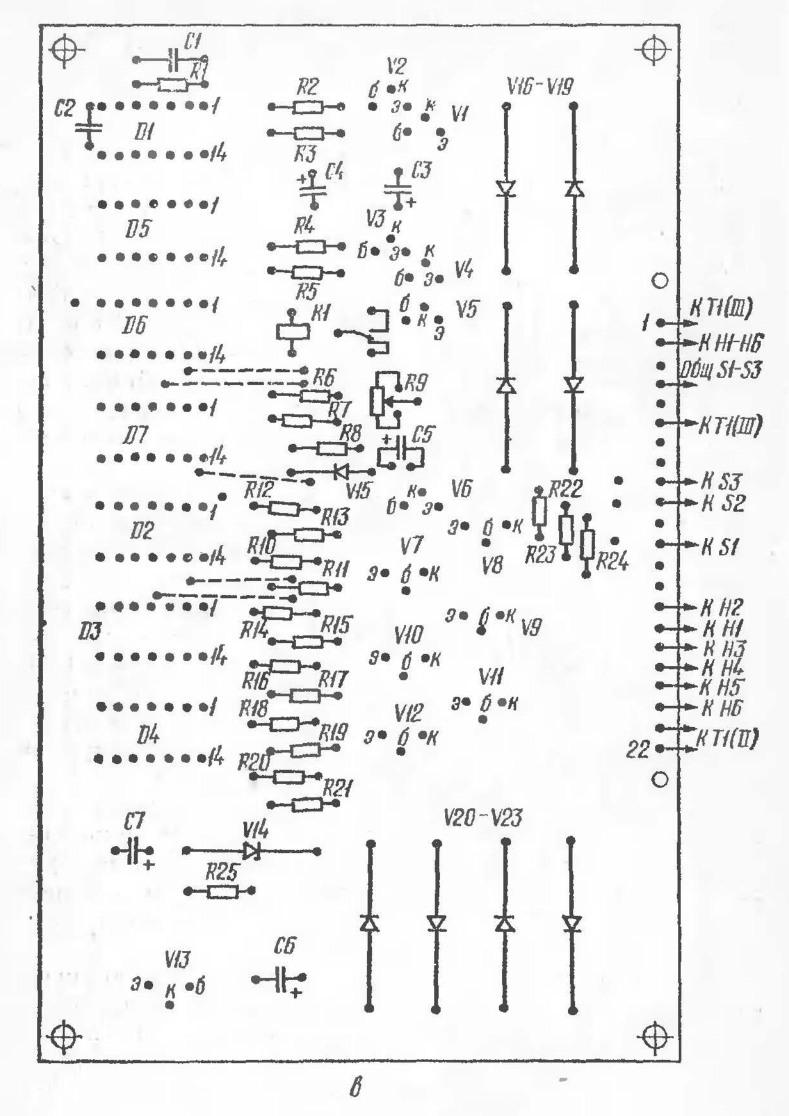


Рис. 3, *в*

лей с обеих сторон платы. При пайке микросхем температура жала паяльника не должна превышать 260° С, время пайки одного вывода — не более 5 с. Перегрев микросхем недопустим.

Все постоянные резисторы — МЛТ-0,125, переменный резистор *R9* — СПО-0,125. Конденсаторы *C1* и *C2* типа К10-7В или КМ-6; *C3* — *C7* — типа К50-6. Транзисторы *V1* — *V4*, *V6* могут быть любые из серий КТ306, КТ312, КТ316, *V5* — КТ603, КТ608, МП35. Транзисторы МП26Б (*V7* — *V12*) можно заменить на МП25, ГТ402, ГТ403, а ГТ403Г (*V13*) — на ГТ402, ГТ403, П213 с любыми буквенными индексами. Микросхемы *D1* — *D4*, *D6*, *D7* можно заменить соответствующими аналогами из серии К158 без какой-либо переделки печатной платы. Можно использовать аналоги и из других серий, например серии К133, но в этом случае потребуется переработка печатной платы.

Перед пайкой выводы всех радиодеталей следует сформовать таким образом, чтобы исключить обрыв печатных проводников при случайном воздействии усилия на деталь.

Трансформатор *T1* намотан на магнитопроводе Ш20 × 30. Обмотка *I* содержит 1760 витков провода ПЭВ-2 0,21, обмотка *II* — 55 витков провода ПЭВ-2 0,27, обмотка *III* — 200 витков провода ПЭВ-2 0,41. Лампы *H1*—*H6* МН26-0,12. Кнопки *S1*—*S3* типа КМ1-1. Выключатель питания *S4* может быть любого типа, например ТВ1-1.

Кнопки *S1*—*S3* монтируют в выносном пульте произвольной конструкции, который соединяют с прибором гибким четырехжильным кабелем длиной 1,5—2 м через разъем *X1*. Цвет кнопки *S1* должен соответствовать цвету лампы *H3*, *S2* — цвету лампы *H2*, *S3* — цвету лампы *H1*.

Прибор может быть собран в деревянном корпусе, оклеенном цветным дерматином или декоративной поливинилхлоридной пленкой. Передняя панель из органического стекла, под ней находятся лампы *H4*—*H6*, освещающие табло. На передней панели находится также выключатель питания *S4*. Гнездовая часть разъема *X1* и держатель предохранителя *F1* находятся на задней стенке корпуса. Трансформатор питания *T1* и печатную плату крепят к днищу корпуса, причем плату располагают

таким образом, чтобы через отверстие в задней стенке корпуса имелся доступ к резистору *R9* для регулировки.

Если в монтаже нет ошибок, а все детали исправны, прибор начинает работать сразу. Вначале движок резистора *R9* устанавливают в крайнее левое (по схеме) положение. Этому положению соответствует максимальная выдержка реле времени. Затем, по мере тренировки, выдержку реле времени уменьшают, вращая ось резистора *R9*.

«БЕГУЩИЕ ОГНИ» НА ТРИНИСТОРАХ

Л. Дмитренко

При оформлении праздничных витрин, световых реклам, новогодних елок и во многих других случаях используют эффект «бегущие огни». Для создания такого светового эффекта обычно поочередно коммутируют три группы ламп, расположенных последовательно по три лампы из каждой группы.

Принципиальная схема возможного варианта устройства, обеспечивающего управление лампами, создающими эффект «бегущие огни», показана на рис. 1. Оно содержит сравнительно небольшое число радиодеталей и не требует какой-либо наладки, а мощность подключаемых ламп, в случае применения соответствующих типов симисторов, может составлять несколько киловатт на группу.

Устройство состоит из генератора импульсов на однопереходном транзисторе *V3* с *RC*-контуром *R2R3C3*; распределителя импульсов, состоящего из тринисторов *V9—V11*, резисторов *R6—R14*, коммутирующих конденсаторов *C8—C10*, конденсаторов *C4—C7* и диодов *V4—V8*; выходных симисторов *V12—V14*, переключающих три группы ламп или гирлянд *H1* и *H1'*, *H2* и *H2'*, *H3* и *H3'*. Питается от сети переменного тока напряжением 220 В через балластный конденсатор *C1*, стабилизатор напряжения на стабилитроне *V1* и диод *V2* с конденсатором фильтра *C2*.

Работает устройство следующим образом. При подключении его к сети через балластный конденсатор *C1*

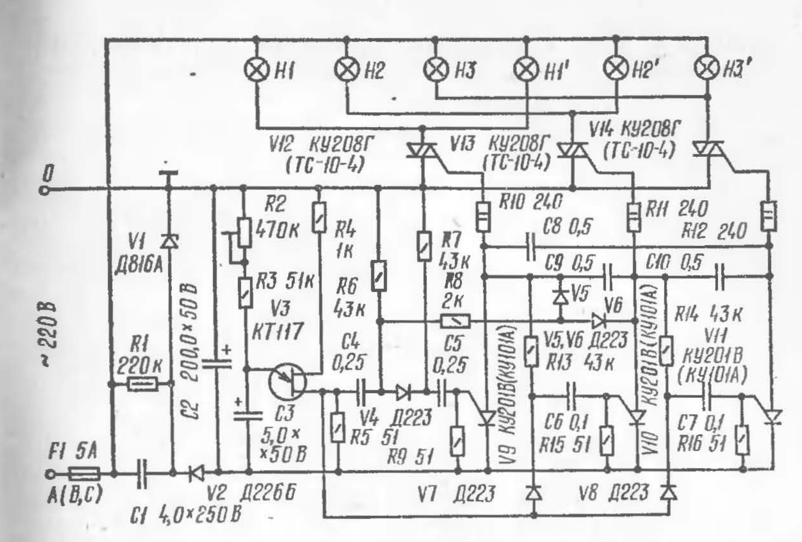


Рис. 1. Принципиальная схема устройства, создающего эффект «бегущих огней»

и стабилитрон *V1* течет ток. Под действием пульсирующего напряжения, возникающего на стабилитроне *V1*, через диод *V2* заряжается конденсатор фильтра *C2* до амплитудного значения этого напряжения. Одновременно через резисторы *R2* и *R3* начинает заряжаться конденсатор *C3*, а через резисторы *R6* и *R7* — конденсаторы *C4* и *C5* до напряжения на конденсаторе *C2*. До напряжения на анодах закрытых тринисторов *V9* и *V10* через резисторы *R13* и *R14* заряжаются конденсаторы *C6* и *C7*. Как только напряжение на конденсаторе *C3* достигнет порога открывания однопереходного транзистора *V3*, этот элемент устройства открывается и через него и резистор *R5* разряжается конденсатор *C3*.

В это время конденсаторы *C6* и *C7* заряжены, диоды *V7* и *V8* закрыты. Поэтому импульс напряжения с резистора *R5* не проходит в цепи управления тринисторами *V10* и *V11*. Из всех тиристоров распределителя импульсов откроется только тринистор *V9*, так как конденсаторы *C4* и *C5* заряжены встречно и, следовательно, диод *V4* открыт для импульса напряжения на резисторе *R5*. Открываясь, тринистор *V9* пропускает (через участок катод—управляющий электрод симистора *V12*

и резистор *R10*) постоянный ток, под действием которого тринистор *V9* удерживается в открытом состоянии, а симистор *V12* открывается. При этом зажигается первая группа ламп *H1* и *H1'*. Теперь конденсатор *C6* разряжается через резистор *R13*, а конденсатор *C4* — через резистор *R8*, диод *V5* и открытый тринистор *V9*. В результате диод *V4* закрывается, а диод *V7* открывается. Через резистор *R11* и открытый тринистор *V9* заряжается коммутирующий конденсатор *C9* до напряжения на конденсаторе *C2*.

Как только конденсатор *C3* снова зарядится до напряжения открывания транзистора *V3*, последний откроется, на резисторе *R5* сформируется следующий импульс управления. Под действием этого импульса через открытый диод *V7* откроются тринистор *V10*, симистор *V13* и включится вторая группа ламп *H2* и *H2'*. Одновременно из-за перезарядки конденсатора *C9* (через резистор *R10*) тринистор *V9* закроется и отключит симистор *V12* и лампы *H1*, *H1'* первой группы. Благодаря диоду *V6* конденсатор *C4* поддерживается в разряженном состоянии, конденсатор *C6* заряжается через резистор *R13* до напряжения на аноде закрытого тринистора *V9*, а конденсатор *C7* разряжается через резистор *R14* и открытый тринистор *V10*. Поэтому третий импульс генератора, создающийся на резисторе *R5*, открывает тринистор *V11* и тем самым включает третью группу ламп — *H3* и *H3'*. При этом напряжение на коммутирующем конденсаторе *C10* закрывает тринистор *V10* и выключает вторую группу ламп.

Теперь закроются диоды *V7* и *V8*, а диод *V4* откроется. Поэтому четвертый импульс генератора снова откроет тринистор *V9* и включит первую группу ламп. Коммутирующий конденсатор *C8* перезарядится, и тринистор *V11* закроется. В дальнейшем работа устройства повторяется.

Подстроечным резистором *R2* можно изменять частоту переключения ламп от 0,5 до 3 с.

Конструкция устройства произвольная. Если ток, потребляемый каждой группой ламп, превышает 5 А, симисторы необходимо установить на теплоотводящие радиаторы площадью не менее 65 см². Желательно, чтобы балластный конденсатор *C1* был металлобумажным типа МБГЧ.

АВТОЛЮБИТЕЛЯМ

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

Э. Литке

Отличительными особенностями предлагаемого варианта системы зажигания (рис. 1) являются повышенная надежность работы, что достигнуто уменьшением импульса тока коммутации через коммутирующий транзистор, зависимость энергии искрообразования от температуры окружающей среды и возможность плавной регулировки напряжения накопительного конденсатора при настройке.

Кроме того, зарядка накопительного конденсатора *C3* происходит не один раз за период работы контактов прерывателя *S1*, а два раза, как при замыкании, так и при размыкании их. В результате для зарядки накопительного конденсатора до такого же напряжения требуется меньший ток через коммутирующий транзистор, или при том же токе через него можно получить напряжение на конденсаторе в 1,4 раза больше. Энергия искрообразования также возрастет, так как она зависит от квадрата напряжения на накопительном конденсаторе. При значительном увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя система автоматически переходит из режима двухразовой (за период) подзарядки накопительного конденсатора на одноразовую, так как времени на двухразовое открывание коммутирующего ключа становится недостаточно. Напряжение на накопительном конденсаторе несколько снижается, однако это не влияет на работу уже разогретого двигателя. При уменьшении частоты вращения коленчатого вала двигателя система автоматически переходит на режим двухразовой подзарядки накопительного конденсатора *C3*. Такой же режим обеспечивает переменную энергию искрообразования, что очень важно при пуске холодного двигателя.

В описываемой системе зажигания для управления коммутирующим ключом, состоящим из транзисторов *V5* и *V6*, использован несимметричный инвертор с резистивной нагрузкой *R1* и коммутирующим конденсатором *C2*. Активным элементом правого (по схеме) плеча инверто-

ра является тринистор *V7*, подключенный управляющей цепью к датчику тока *R8*, а катодом — к датчику импульсного напряжения *R9*.

Активным элементом левого плеча инвертора служат контакты прерывателя *S1*, с которым через дифференцирующую цепь, состоящую из конденсатора *C1*, диода *V4* и резистора *R4*, соединен управляющий электрод разрядного тринистора. Подбором сопротивления резистора *R10* устанавливают момент открывания тринистора *V7* и, соответственно, напряжение на конденсаторе *C3*. Резисторы *R5* и *R6* стабилизируют режим работы коммутирующего транзисторного ключа *V5V6*. Резистор *R3* стабилизирует режим тринистора *V8*, а резистор *R7* ограничивает ток коллектора транзистора *V5*.

Для шунтирования выброса напряжения, возникающего на катушке зажигания после окончания колебательного процесса и закрывания диода *V10*, а также с целью предотвращения возможного повторного срабатывания тринистора *V8* параллельно катушке зажигания подключена защитная цепочка *R11C4*.

Работает система следующим образом. При включении питания, независимо от состояния контактов прерывателя *S1*, через правую (по схеме) часть резистора *R1* и стабилитроны *V2* и *V3* пройдет базовый ток транзи-

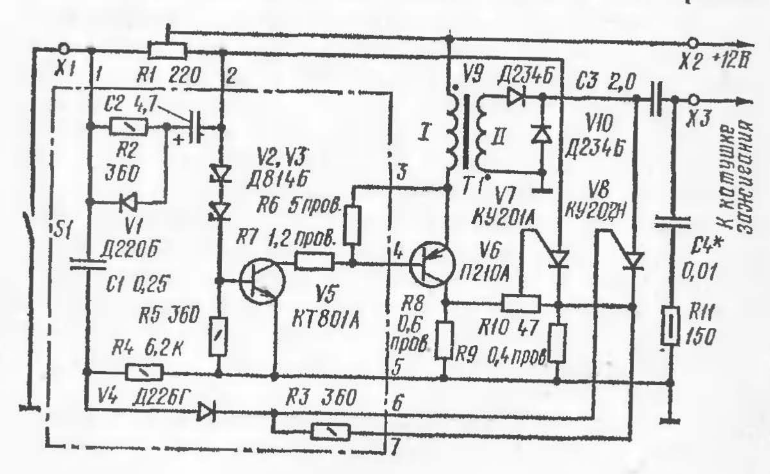


Рис. 1. Принципиальная схема системы зажигания

стора *V5*. При этом транзисторы *V5* и *V6* откроются и перейдут в режим насыщения.

За счет индуктивного сопротивления первичной обмотки накопительного трансформатора *T1* ток коллектора транзистора *V6* плавно нарастает, и напряжение на датчике тока *R8* в какой-то момент времени достигнет такой величины, при которой откроется тринистор *V7*. После его открывания базовый ток транзистора *V5* станет равным нулю из-за отсечки тока стабилитронами *V2* и *V3*, включенными в прямом направлении. Транзисторы резко закроются, ток в первичной обмотке трансформатора уменьшится до нуля, а ЭДС самоиндукции будет трансформироваться и передаваться через диод *V9* и первичную обмотку катушки зажигания на конденсатор *C3*, заряжая его до некоторого напряжения *U*. Если в момент подачи напряжения питания контакты прерывателя были замкнуты, то до последующего их размыкания все конденсаторы, кроме *C3*, будут разряжены, тринистор *V7* открыт, а транзисторы закрыты.

После размыкания контактов в момент t_1 (рис. 2) импульсом, сформированным дифференцирующей цепочкой *C1R4V4*, откроется тринистор *V8*, и накопительный конденсатор *C3* разрядится через первичную обмотку катушки зажигания, вызывая искру в свече. Благодаря диоду *V10* в катушке возникнут ударные затухающие колебания в течение одного периода. По окончании колебательного процесса тринистор *V8* закроется, а на накопительном конденсаторе *C3* возникнет начальное напряжение U_0.

Положительный импульс, снимаемый с датчика *R9* при перезарядке конденсатора *C3*, закрывает тринистор *V7*, так как полярность его противоположна полярности питающего напряжения, и в цепи катода тринистора возникнет закрывающий его ток. В момент t_2 коммутирующий транзисторный ключ *V5V6* вновь открывается, и конденсатор *C3* заряжается до напряжения U_1. На эпюре напряжений это произойдет в момент времени t_3. Коммутирующий конденсатор *C2* в это время перезарядится через нагрузку левого плеча инвертора и резистор *R2* до напряжения источника питания (падение напряжения на стабилитронах и эмиттерном переходе транзистора *V5* не учитывается). До повторного замыкания контактов прерывателя конденсаторы *C1* и *C2* будут за-

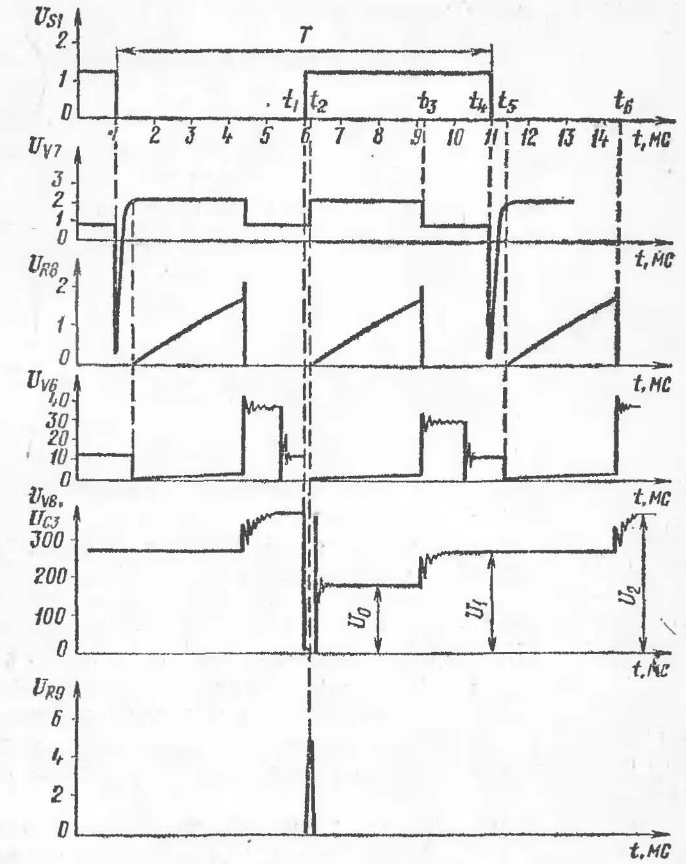


Рис. 2. Кривые распределения сигналов

ряжены до напряжения источника питания, конденсатор *C3* — до напряжения U_1; транзисторы *V5*, *V6* и тринистор *V8* закрыты, а тринистор *V7* открыт.

В момент t_4 после замыкания контактов прерывателя левая (по схеме) обкладка конденсатора *C2* окажется замкнутой через диод *V1* на корпус, напряжение на аноде тринистора *V7* кратковременно станет отрицательным, отчего он закроется, а коммутирующий транзисторный ключ, открываясь, в момент времени t_5 увеличит через $\Delta t = t_6 - t_5$ суммарное напряжение подзарядки накопительного конденсатора до напряжения U_2. Конденса-

тор *C1* разрядится через резистор *R4*. Постоянная времени цепи разрядки этого конденсатора устраняет срабатывание тринистора *V8* от дребезга контактов прерывателя.

Теперь, после очередного размыкания контактов прерывателя и разрядки накопительного конденсатора *C3* на катушку зажигания, энергия искрообразования будет больше, так как конденсатор был заряжен до бо́льшего напряжения. В дальнейшем цикл работы будет повторяться.

Электрические параметры системы зажигания приведены в табл. 1. Эпюры напряжений построены относительно корпуса.

Сила тока спрямления тринистора *V7* изменяется в зависимости от температуры окружающей среды. В холодный период времени, когда рабочая смесь в цилиндре

Таблица 1

Электрические параметры системы зажигания

Параметр	Значение	Примечание
Напряжение питания, В	12	
Допустимое отклонение напряжения питания, %	±40	
Потребляемый ток, А	0,35	При $f = 10$ Гц
Наибольший потребляемый ток, А	1,8	При $f = 130$ Гц
Разрывной ток в обмотке *I*, А не более	4,5	При $t = 20°$ С
Частотный диапазон двухтактной работы, Гц	4—150	Для четырехцилиндрового двигателя
Граничная частота гарантированной однотактной работы, Гц	220	
Диапазон изменения температуры окружающей среды, $t°$ С	—40...+60	
Энергия искрообразования, Вт·с/искр	0,12	При $t = 20°$ С $f \leqslant 130$ Гц
Длительность колебательного процесса, мкс	360	С катушкой зажигания типа Б1

воспламеняется плохо, энергия искрообразования увеличивается, так как для открывания тринистора *V7* требуется большее падение напряжения на датчике *R8*, что возможно только при бо́льшем токе в цепи первичной обмотки накопительного трансформатора, когда конденсатор *C3* будет заряжаться до большего напряжения. При повышении температуры происходит обратный процесс.

Точно рассчитать величину изменения U_2 трудно, потому что при понижении температуры изменяются параметры других элементов системы зажигания. Практически было получено изменение U_2 на 25% при изменении температуры окружающей среды от —40° С до +60° С или $\frac{\Delta U_2}{\Delta t^\circ} \approx 1$ В/°С.

Конструкция описанной системы зажигания показана на рис. 3. Внешние размеры блока, без учета выступающих шпилек, 175 × 120 ×85 мм, масса 1,9 кг.

Несущим элементом (шасси) устройства служит алюминиевая пластина толщиной 4 мм (рис. 4), на которой размещены и смонтированы детали. Одновременно шасси служит охлаждающим радиатором для транзистора *V6* (на рис. 3 он не виден), диода *V9* и тринисторов, установленных на нем через слюдяные прокладки. Резисторы *R1* и *R10* — проволочные типа ПЭВР-10, укреплены на шасси шпильками длиной 55 мм с резьбой М4 через текстолитовые прокладки. Резисторы *R8* и *R9* изготовлены из нихромовой проволоки диаметром 1 мм в виде витой пружины и припаяны к изолирующим лепесткам рядом с клеммником (использована часть клеммника КМ-1-10). Клеммник можно заменить разъемом. Корпус транзистора *V6* изолирован от шасси слюдяной прокладкой толщиной 0,05 мм, а крепежная скоба — шайбой из стеклотекстолита.

Остальные детали, кроме трансформатора *T1*, конденсаторов *C3*, *C4* и резистора *R11*, смонтированы на печатной плате (рис. 5). Транзистор *V5*, утопленный в отверстии в плате, приклеен клеем БФ-2. Плату крепят на шасси вертикально двумя уголками из дюралюминия или стали. Резисторы *R7* и *R6* проволочные. Первый из них намотан на резисторе ВС-0,25, сопротивлением 100 кОм, в один слой изолированной манганиновой проволокой диаметром 0,4 мм, второй — на резисторе МЛТ-0,25 та-

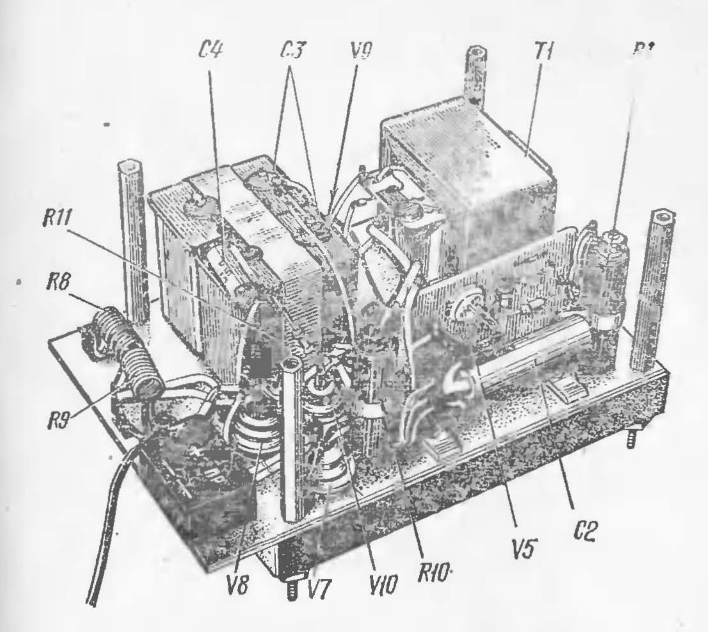


Рис. 3. Конструкция системы зажигания

кого же номинала в один слой такой же проволокой, но диаметром 0,15 мм.

Конденсатор *C1* типа МБМ на номинальное напряжение 160 В, *C2* — К76П-1 на номинальное напряжение 63 В, *C4* — КБГИ на номинальное напряжение 600 В. Накопительный конденсатор *C3* можно составить из нескольких конденсаторов, соединяя их последовательно или параллельно. Емкость его должна быть 2 мкФ, а номинальное напряжение не менее 500 В. В описываемой конструкции использованы два конденсатора МБГЧ-1--500-1,0, соединенные параллельно.

Диод *V9* может быть серий КД203, КД209 или КД210 с любым буквенным индексом, а *V10* — Д248Б, КД206В, КД202Р, КД203А — КД203Г, КД210. Тринистор КУ201А можно заменить на прибор этой же серии с любым другим буквенным индексом или на КУ202Н.

В качестве накопительного трансформатора *T1* использован выходной трансформатор кадров (ТВК, магнитопровод Ш16 × 32) телевизоров «Темп-6», «Темп-7» или «Рубин-102А» с измененными данными обмоток:

обмотка *I*, содержащая 65 витков провода ПЭВ-2 1,04, намотана поверх обмотки *II*, содержащей 750 витков провода ПЭВ-2 0,19. Сердечник и ярмо магнитопровода собраны встык с зазором около 0,15 мм. Вторичная обмотка должна быть хорошо изолирована от первичной. Трансформатор после сборки необходимо пропитать изоляционным лаком.

После проверки монтажа хомутик резистора *R1* надо установить так, чтобы сопротивление его левой (по схеме) части было 65—70 Ом, а хомутик резистора *R10* приблизить к выводу, подключенному к коллектору транзистора *V6*. Источник питания должен быть достаточно мощным, чтобы выдерживать импульсную нагрузку в 5—10 А. Зазор в свече устанавливают 0,9—1 мм или используют вместо свечи проводник, соединив один его конец с высоковольтным выводом катушки зажигания и приблизив другой к корпусу устройства на 2—5 мм. В качестве прерывателя можно использовать контакты электромагнитного реле, включенного в цепь мультиви-

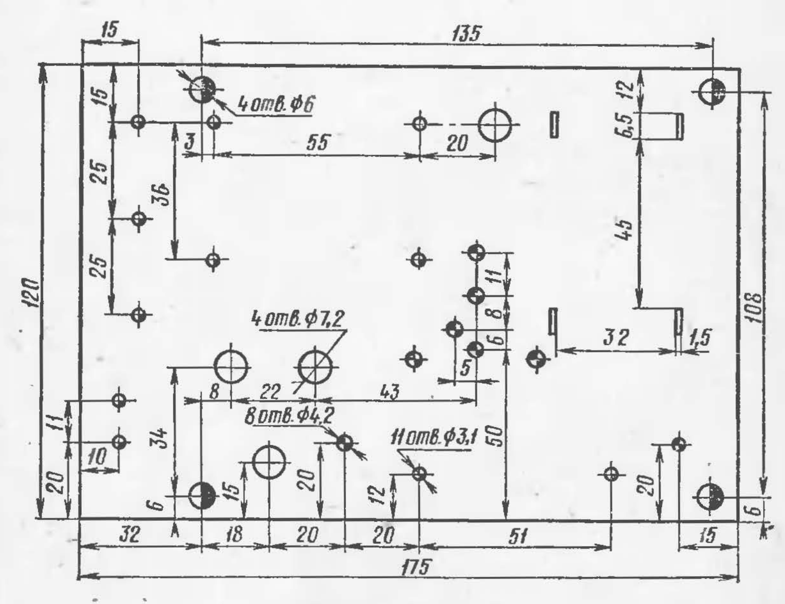


Рис. 4. Разметка шасси

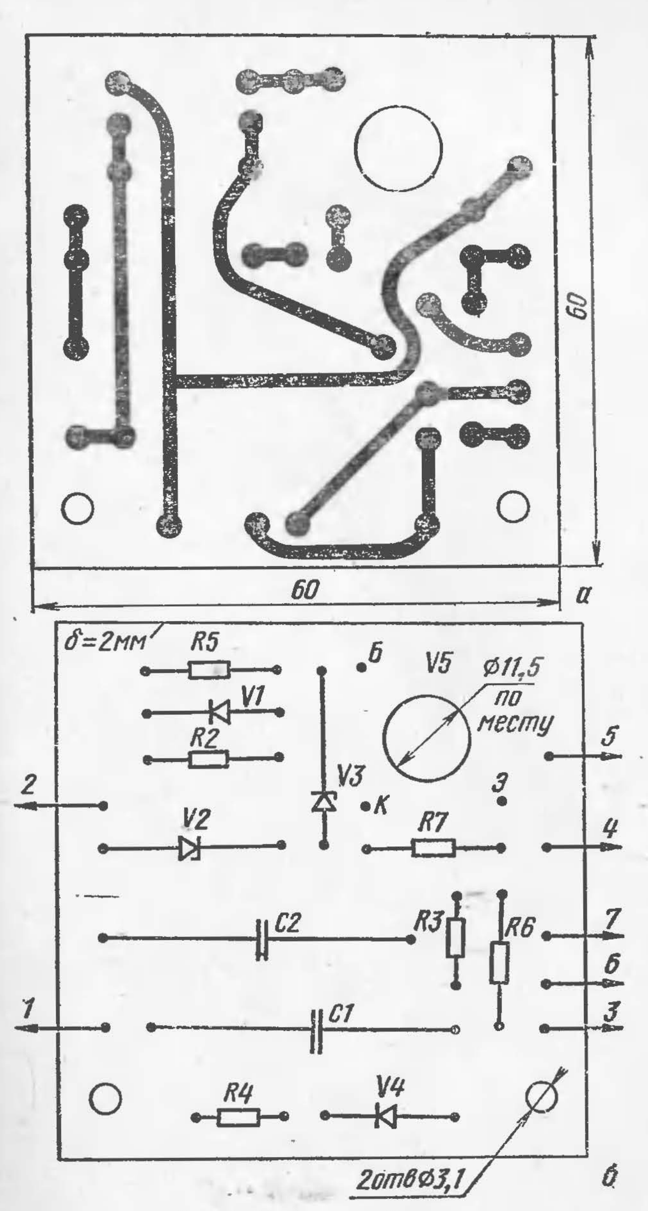


Рис. 5. Плата устройства:
а — печатный монтаж; *б* — расположение элементов

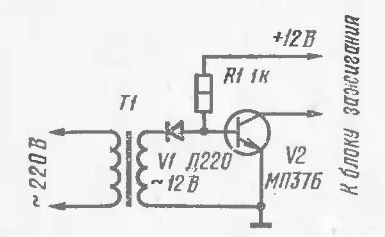


Рис. 6. Схема бесконтактного прерывателя для проверки блока зажигания

братора, или собрать бесконтактный имитатор-прерыватель по схеме, приведенной на рис. 6.

Особое внимание надо обратить на фазировку обмоток накопительного трансформатора *T1* и надежность соединения первичной обмотки катушки зажигания с клеммником. Несоблюдение этих условий может привести к выходу из строя транзистора *V6* (пробою участка коллектор — эмиттер).

Если все детали исправны и нет ошибок в монтаже, система начнет работать сразу после включения питания. Медленным перемещением хомутика резистора *R10* нужно добиться на аноде тринистора *V8* напряжения $U_2 = 380$ В. Измерение лучше производить осциллографом. Если же его нет, можно измерить среднее значение напряжения на резисторе *R8* вольтметром постоянного тока, показания которого при напряжении питания +12 В и частоте прерывателя 50 Гц должно быть 0,24 В, что соответствует $U_2 = 380$ В.

Налаженный блок зажигания закрывают двумя кожухами (см. рис. 3), которые закрепляют на четырех несущих шпильках с одной стороны винтами М4, а с другой гайками М6. При помощи этих же шпилек блок укрепляют на автомобиле. Место блока выбирают таким, чтобы он не нагревался от двигателя. Для защиты от механических повреждений резисторов *R8* и *R9*, рассеивающих значительную мощность при максимальной частоте вращения коленчатого вала, используется уголок стали толщиной 1 мм, который привертывают к верхнему кожуху двумя винтами.

Описанная система электронного зажигания изготовлена и испытана в работе в течение пяти лет на автомобиле «Москвич-412». Она показала надежную и бесперебойную работу.

СОДЕРЖАНИЕ

Учебным организациям ДОСААФ и радиокружкам
А. Аристов. Характериограф и работа с ним 1
В. Ринский. Элементы цифровой техники 11

Звуковоспроизведение
В. Иваненко. Стереофонический усилитель НЧ 33
С. Филин. Лампово-транзисторный усилитель для стереотелефонов 40

Радиолюбителю-конструктору
С. Минделевич. Генераторы импульсов на цифровых микросхемах (обзор) 45

Электронная автоматика
А. Евсеев. Красный, зеленый или синий? 56
Л. Дмитренко. «Бегущие огни» на тринисторах 66

Автолюбителям
Э. Литке. Электронная система зажигания 69